# GRAĐEVINAR

12
ČASOPIS DRUŠTVA GRAĐEVINSKIH INŽENJERA I TEHNIČARA N. R. H.
GODINA IX PROSINAC 1957





Slika prikazuje dvokatne montažne objekte s dvosobnim stanovima naselja Držićeva–Autoput.

# »GRAĐEVINAR«

GOD. IX. BROJ 12

SADRŽAJ:



---

## SARADNICI!

### OLAKŠAJTE RAD REDAKCIONOM ODBORU I UREDNIKU!

Ako želite da Vaš članak bude što prije objavljen, držite se uputa:

DVA PRIMJERKA tipkana na stroju potpuno spremna za štampu neophodno su potrebna;
tipkanje PROREDOM sa slobodnim RUBOM 5 cm ŠIRINE s lijeve strane omogućuje unašanje potrebnih korektura na jasan i pregledan način;
CRTEŽI IZRAĐENI TUŠEM jedino mogu da se upotrebe za izradu klišeja; slova i brojke na crtežima moraju biti tako veliki, da nakon smanjenja na format lista (8 odn. 16,5 cm širine) budu najmanje 1 mm visoki;
fotografije kontrastne na sjajnom papiru daju dobre klišeje;
popis crteža i slika s rednom numeracijom olakšava orijentaciju, pa se izbjegava zametanje; sve slike priložiti odvojeno od teksta;
jasno i koncizno izražavanje u duhu jezika olakšava čitanje i povećava razumljivost, a štedi i na skupocijenom prostoru u listu.
Više slika, manje teksta — Vašem će se radu pokloniti više pažnje!

Čitaoci traže više članaka na manje stranica; zadovoljite čitaoce, oni će Vam biti zahvalni!
Svi se objavljeni radovi honoriraju po tarifi, slike se računaju kao tekst.

RUKOPISI SE NE VRAĆAJU, zadržite za sebe kopiju!

**Časopis izdaje:** Društvo građevinskih inženjera i tehničara NRH, Zagreb, Berislavićeva ul. 6.
Glavni urednik: Dr. ing. Ervin Nonveiller.
Tehnički urednik: Ing. Lida Zlatić.



Administracija: Zagreb, Berislavićeva 6 — Tel. 36-271 — Tek. račun kod Komunalne banke Zagreb 40-KB-4 Ž 1151

Tisak »TIPOGRAFIJA« grafičko-nakladni zavod. Zagreb

# »GRAĐEVINAR«

ČASOPIS DRUŠTVA GRAĐEVINSKIH INŽENJERA I TEHNIČARA HRVATSKE

**ZAGREB, BERISLAVIĆEVA 6 — TEL. 36-271**

12 BROJEVA GODIŠNJE S AKTUELNIM I INTERESANTNIM SADRŽAJEM

Časopis izlazi svakog mjeseca, i to najmanje na 24 stranice. Pretplata iznosi godišnje:

| | |
|---|---|
| za poduzeća i ustanove . . . . . . | Din 1.600.— |
| za ostale pretplatnike . . . . . . . | „ 900.— |
| za đake Građevinske srednje tehničke škole i studente Građevinskog fakulteta . . | „ 400.— |
| pojedini broj . . . . . . . . . . | „ 80.— |
| za inostranstvo . . . . . . . . . | „ 4.000.— |

Pretplate za pola godine su srazmjerno za 10% skuplje.

Pretplata se plaća unaprijed na tek. račun 40-KB-4/Ž-1151 ili u administraciji časopisa dnevno od 10 do 12 sati.

Pretplata se otkazuje najkasnije do 20. XII. tek. godine; inače se prešutno smatra produljenom za narednu godinu.

---

»GRAĐEVINAR« časopis Društva građevinskih inženjera i tehničara N. R. H. ima razvijenu oglasnu službu s ovim kategorijama oglasa:

1. **Oglašivanje privredne djelatnosti**

| | |
|---|---|
| naslovna strana . . . . . . . . . . | Din 30.000.— |
| omotne strane . . . . . . . . . . | „ 25.000.— |
| ostale strane 1/1 . . . . . . . . . . | „ 20.000.— |
| ostale strane 1/2 . . . . . . . . . . | „ 12.000.— |
| ostale strane 1/4 . . . . . . . . . . | „ 8.000.— |

2. **Ponuda i potražnja materijal, najam strojeva i inventara, oglasi licitacije**

| | |
|---|---|
| strana 1/1 . . . . . . . . . . . . | Din 25.000.— |
| strana 1/2 . . . . . . . . . . . . | „ 15.000.— |
| strana 1/4 . . . . . . . . . . . . | „ 10.000.— |

3. **Ponuda i potražnja namještenja**

| | |
|---|---|
| strana 1/1 . . . . . . . . . . . . | Din 30.000.— |
| strana 1/2 . . . . . . . . . . . . | „ 18.000.— |
| strana 1/4 . . . . . . . . . . . . | „ 12.000.— |
| strana 1/8 . . . . . . . . . . . . | „ 7.000.— |
| strana 1/12 . . . . . . . . . . . | „ 5.000.— |
| Članovi DIT-a 1/12 . . . . . . . . . | „ 500.— |

Oglasi se primaju do najmanje 10 dana **PRIJE IZLASKA LISTA.**
Kod narudžbe za oglas u više uzastopnih brojeva 10% popusta.
Ako se oglas naruči izravno u našoj administraciji dajemo 10% popusta.
Svaki oglas u našem listu čitaju svi građevinari u zemlji!

**OGLAŠUJTE U »GRAĐEVINARU«!**



# GRAĐEVINAR

ČASOPIS DRUŠTVA GRAĐEVINSKIH INŽENJERA
I TEHNIČARA HRVATSKE



GOD. IX 1957

## SADRŽAJ

(abecednim redom autora)

*Prva brojka označuje broj »Građevinara«, druga stranicu*

### ČLANCI

# GRAĐEVINAR

GOD. IX. PROSINAC 1957 BROJ 12

# PRIMJENA SUVREMENIH METODA KOD BETONIRANJA OBLOGE DOVODNOG TUNELA HE »GOJAK«

Ing. **Valter Janaček**, Zagreb

## Uvod

Dovodni tunel hidroelektrane »Gojak« kod Ogulina, dužine 9,6 km i čistog promjera 4,50 m, ne samo da je daleko najveći i najznačajniji objekat ovog postrojenja, već predstavlja i najveći objekat takve vrste, koji je ikada izvođen u našoj zemlji. Kako je poznato, izgradnja tog postrojenja započela je u 1954. god. Radovi će se prema planu završiti početkom 1958. god., tako da se već u I. polugodištu 1958. god. predviđa puštanje postrojenja u pogon. Teškoće s finansiranjem objekta i dobavom opreme uzrokovale su izvjesno zakašnjenje roka završetka.

Kod razrade organizacije građenja nastojalo je izvođačko poduzeće »Hidroelektra« — Zagreb, da primijeni suvremenije metode građenja uz upotrebu što jače mehaniziranih radnih procesa i odgovarajućih bržih napredovanja. To naravno u okviru svojih, a i naših općih mogućnosti. Ovaj zadatak bio je otežan utoliko, što se već raspolagalo znatnom mehanizacijom za slične radove sa završenih gradnja HE »Nikola Tesla«, HE »Ozalj II«, HE »Zavrelje« i dr. koja nije odgovarala traženim zahtjevima, i što nije bilo moguće namaknuti ogromna financijska sredstva za nabavu kompletne suvremene mehanizacije, potrebne u prvom redu za izvođenje opsežnih tunelskih radova. Treba znati, da troškovi takve kompletne mehanizacije iznose blizu 1 milijarde dinara, koji financijski teret ne može preuzeti nijedno naše građevno poduzeće. Sticajem ovakvih okolnosti bilo je izvođačko poduzeće »Hidroelektra« prisiljeno da radove organizira tako, da u što većoj mjeri koristi raspoloživu mehanizaciju, a skromni investicioni zajam da iskorišćuje samo za nabavu najnužnije opreme, koja će barem djelomično omogućiti primjenu novijih metoda građenja.

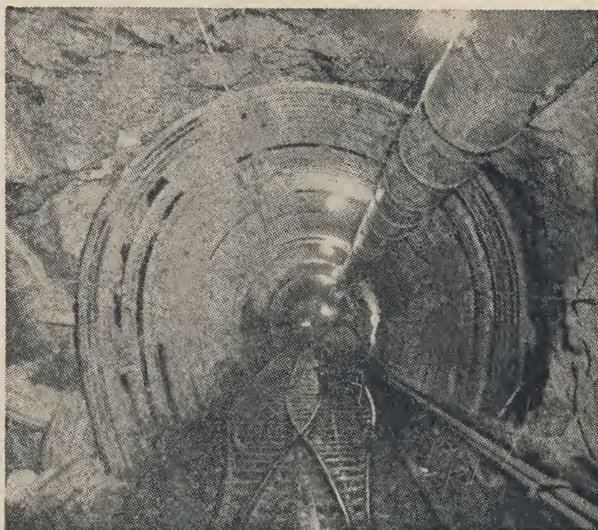
U ovom časopisu već je dan opširniji prikaz primijenjenih suvremenih metoda kod iskopa tog tunela. [7]. U okviru ovog članka dat će se prikaz primijenjenih metoda rada i primijenjene građevinske mehanizacije kod izvođenja betonske obloge, te prikaz dosada postignutih uspjeha i iskustava u tom radu. Te suvremene metode primijenjene su samo na 2 dionice (gradilišta) tunela, i to na cca 58% njegove dužine. To stoga, što iz već spomenutih razloga nije bilo moguće opremiti sva gradilišta potrebnom novom mehanizacijom, a i stoga, što su geološke prilike na ostalom potezu tunela bile nepovoljnije i nije postojala dovoljna sigurnost za mogućnost realizacije takvih suvremenih metoda.

Isto tako je u posebnom broju »Građevinara« (prigodom savjetovanja hidrotehničara 1956. god.) već dan detaljan prikaz proizvodnje agregata i pripreme betona te gradnje [6], kao i kratki prikazi s te gradnje [5] i [8]. U ovom članku dat će se prema tome samo prikaz metoda i primijenjenih sredstava za samo betoniranje obloge u tunelu.

Da bi se pravilnije mogao ocijeniti kasniji prikaz izvršene organizacije betoniranja tunelske obloge, te bolje shvatiti izmjene i pojednostavnjenja uobičajenih suvremenih metoda izvođenja takvih radova, koje je izvodačko poduzeće izvršilo silom prilika, držim u prvom redu potrebnim da ukratko opišem neke od tih suvremenih metoda građenja, koje su u novije vrijeme uspješno primijenjene u inozemstvu.

### Kratak prikaz suvremenih metoda betoniranja u tunelu

U prvom redu treba napomenuti, da se suvremene metode građenja tunela, kod kojih je omogućeno postizavanje velike brzine građenja,



Sl. 1. Čelična podgrada

s uspjehom mogu primijeniti uglavnom samo u slučaju povoljnih geoloških prilika, t. j. postojanja čvrste i kompaktne stijene ili bar takvih, kod kojih se odmah po izvršenom iskopu može provesti osiguranje profila nabačajem torkretne žbuke, umetanjem čeličnih prstenova i t. d. (sl. 1).

Prema tome niže se opisane metode betoniranja obloge mogu primijeniti samo u slučaju, ako profil tunela nije zagrađen nikakvim podgradama. U slučaju nailaska na slabije geološke prilike treba odnosna mjesta osigurati na prije navedeni način i to tako, da to osiguranje bude van profila same betonske obloge.

Suvremene metode izvedbe betonske obloge sastoje se u principu u primjeni specijalnih, lako pokretnih i rastavljivih čeličnih oplata, mehaniziranog ubacivanja betona u oplatu i vibriranja betona, te u najvećoj mjeri mehanizirane pripreme i dopreme betonske mješavine. Na taj način mogu se postići veliki satni kapaciteti ugradnje betona i velika dnevna napredovanja.

Realizacija te samo principijelno opisane metode izvršava se u praksi na najrazličitije načine, i to s obzirom na:

a) vremenski slijed radova na iskopu i betoniranju,
b) izvođenje obloge u jednoj ili više faza,
c) slijed izvođenja pojedinih faza betoniranja,
d) odabrano mjesto miješanja betona,
e) način transporta betona ili agregata,
f) vrst primijenjene oplate,
g) vrst primijenjene miješalice,
h) način ubacivanja betona u oplate,
i) vrst pogona strojeva u tunelu i
j) kontinuiranost radnog procesa.

Radi realnije procjene primijenjene metode na gradnji Gojak dajemo posve kratak osvrt na pojedinosti spomenutih savremenih načina ovakovih radova.

a) Vremenski slijed radova

Radovi na iskopu i betoniranju tunela izvode se istovremeno, ili se najprije forsiranim radom izvede u potpunosti iskop tunela, a nakon toga pristupi betoniranju.

Nema sumnje, da istovremeni rad na iskopu i betoniranju tunela dovodi, osobito kod duljih tunela, do vrlo teških transportnih problema, a i pitanje smještaja ventilacionih i ostalih instalacija predstavlja teškoću s obzirom na izvođenje betonske obloge i pokretanje za to potrebne oplate. Taj se način može primijeniti samo u tunelima većeg promjera, u kojima se može postaviti dvostruki kolosjek. On prvenstveno dolazi u obzir, kad iz geoloških razloga treba što prije definitivno izgraditi iskopani profil, a zatim i kod duljih dionica tunela, kod kojih iz bilo kojeg razloga nije osigurano izvođenje osobito brzog iskopa tunela [4].

Očigledno je, da je kod užih profila mnogo simpatičnije, a često i jedino moguće izvesti najprije sav iskop tunela, a tek onda pristupiti betoniranju.

b) Izvođenje obloge u fazama

S obzirom na postignuti kvalitet sigurno je najbolje da se tunelska obloga izvede u svega jednoj fazi, t. j. bez uzdužnih radnih fuga. Takva izvedba skopčana je s odgovarajućim većim teškoćama u vezi postavljenja teške čelične oplate na posebno izgrađene nosače (stupiće). Stoga se ta metoda rjeđe primjenjuje.

Redovito se betonska obloga izvodi u dvije ili više faza. Kod kružnih profila tunela dolazi u obzir redovito izvođenje u dvije faze: donji (podnožni) svod i kalota. (sl. 2)

Kod potkovičastog profila tunela i istovremenog rada na iskopu i betoniranju izvodi se obloga obično u tri faze, i to dno u dvije faze, a svod u jednoj fazi [4].

Nema sumnje, da je izvedba obloge u dvije i više faza znatno jednostavnija i lakše provediva i zbog toga se primjenjuje u većini slučajeva.

c) Slijed faze betoniranja

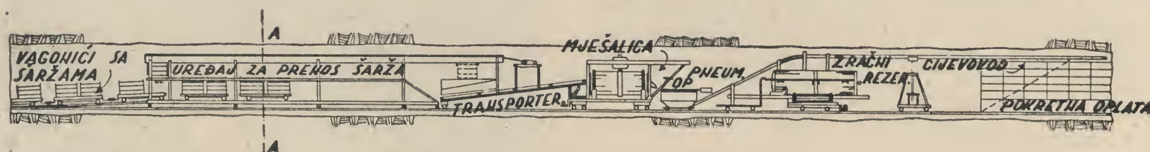
Kod izvođenja obloge u fazama postoje uglavnom dvije alternative, i to da se najprije izvede dno, a onda kalota (sl. 3), ili pak obratno, da se najprije izvede kalota, a tek onda dno (sl. 2).

S obzirom na principijelnu organizaciju izvođenja radova ne može se dati prednost nijednom od ovih načina. U praksi postoji gotovo podjednak broj slučajeva, gdje se uspješno radilo na jedan i na drugi način.

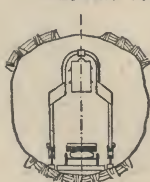
d) Mjesto miješanja betona

Miješanje betona vrši se ili pred ulazom u tunel tako, da se kod dužih dionica tunela beton dovozi specijalnim vagonićima s uređajem za miješanje betona za vrijeme dopreme (sl. 3 i 4), ili se miješa u tunelu, u neposrednoj blizini mjesta ugradnje (sl. 2) uz dopremu dozirane suhe mješavine u posebnim šaržama (sl. 5).

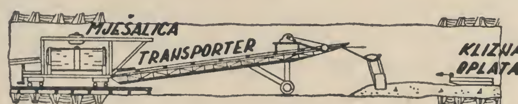
I. FAZA: BETONIRANJE KALOTE




PRESJEK A-A



II. FAZA BETONIRANJE DNA



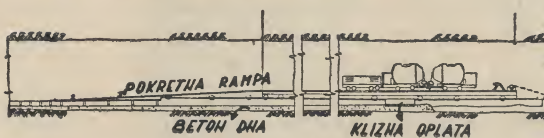

Sl. 2. Shema betoniranja obloge u dvije faze uz primjenu tunelske miješalice (najprije se izvodi svod, a kasnije dno)

I. FAZA: BETONIRANJE UZDUŽ. PRAGOVA





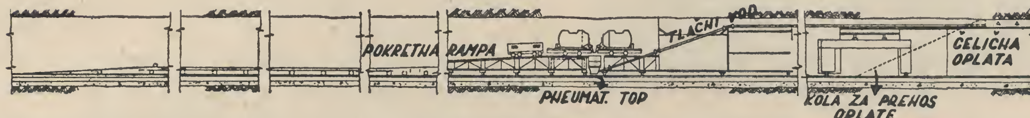

II. FAZA: BETONIRANJE DNA







III. FAZA: BETONIRANJE KALOTE




Sl. 3. Shema betoniranja obloge u dvije faze, s dovozom gotove mješavine betona u tunel (najprije se izvodi dno, a kasnije svod)

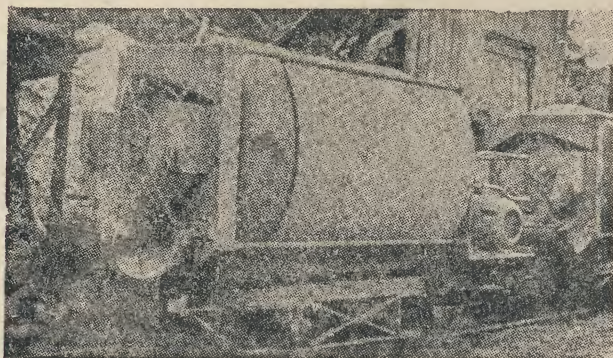
Miješanje betona van tunela bez primjene specijalnih vagoneta za prijevoz dolazi do primjene prvenstveno kod kraćih tunela, gdje kod prijevoza betona ne može doći do segregacije ili čak početka vezanja betona.

U slučaju primjene miješanja u tunelu postoji i rješenje, da se zbog postizavanja većeg kapaciteta betoniranja, t. j. skraćivanja vremena miješanja betona u tunelu, mješavina izmiješa u vanjskoj betonari na suho i u tunelu izvrši kratko miješanje (30 sek.) uz dodatak vode.

Iz poznatih slučajeva iz prakse proizlazi, da se u većini slučajeva primjenjuje miješanje betona u tunelu.

e) Transport agregrata — betona

Vrši se redovito na kolosjecima uz primjenu specijalnih vagoneta za beton ili doziranu mješavinu, te specijalnih tunelskih lokomotiva na pogon komprimiranim zrakom, električnom energijom iz akumulatora



Sl. 4. Vagonet za prevoz betona s uređajem za miješanje (agitator car)

ili dizel-motorom sa specijalnim pročistačima ispušnih plinova. Do primjene dolaze i obični-standardni vagoneti-prevrtači, ukoliko to dopuštaju prilike.

Bezkolosječni transport primijenjuje se rijetko, i to samo kod tunela osobito velikog promjera i relativno kraće dužine (zbog prostora i ispušnih plinova).

f) Vrst oplate

Primjenjuje se isključivo specijalna teleskopska lako rasklopna i prenosna čelična oplata, s posebnim kolicima za prijevoz (sl. 6 i 7).

Oplata treba da je toliko jaka, da nije potrebno nikakvo podupiranje ili razupiranje za vrijeme betoniranja. Najbolji uspjesi su postignuti s oplatama naročite konstrukcije, proizvodnje specijaliziranih tvornica, kao na pr. Blow-Knox i sl. U pojedinim slučajevima, kao na pr. u susjednoj Austriji, primjenjuju se oplate vlastite konstrukcije i izrade, i to kombinirane od drveta i čelika ili potpuno od čelika [3].



Sl. 5. Vagoneti za prevoz šarža agregata

g) Vrst miješalice

Kod miješanja u tunelu redovito se primjenjuju specijalne tunelske miješalice skučene konstrukcije i velikog kapaciteta. S uspjehom se primjenjuju i obične miješalice adaptirane za prilike rada u tunelu.



Sl. 6. Čelična teleskopska oplata



Sl. 7. Čelična oplata s prijenosnim kolicima

h) Ubacivanje betona

Vrši se pneumatskim uređajem — topom (sl. 8) ili betonskom pumpom. Kod izvođenja obloge u više faza ubacuje se beton za dno obično pomoću transportera.

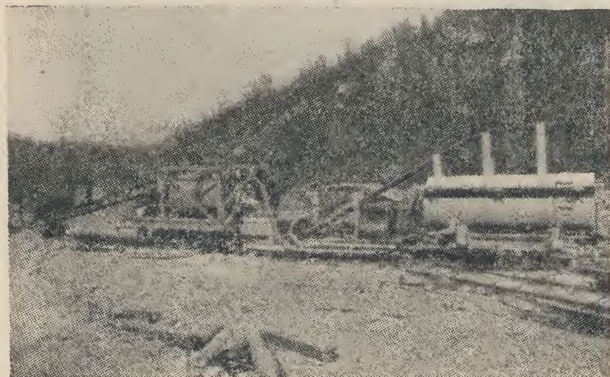
i) Vrst pogona strojeva u tunelu

Radi se uglavnom o pogonu strojeva t. zv. pokretnog betonskog vlaka, t. j. mješalice s transporterima za agregat odnosno beton, te uređaja za ubacivanje betona i vibratorima. Električni pogon skopčan je s opasnošću od eventualnih nezgoda i povezan sa znatnim investicijama i troškovima za specijalne kablove, trafostanice i ostale uređaje, ali je zato u pogonu višestruko (3 do 5 puta) jeftiniji od pogona komprimiranim zrakom. Što se tiče jednostavnosti organizacije izvođenja i sigurnosti rada, pogon komprimiranim zrakom ima svojih prednosti, ali se ipak električni pogon primjenjuje vrlo često, zbog veće ekonomije.

j) Kontinuiranost radnog procesa

Rad na betoniranju vrši se kontinuirano, dakle bez poprečnih radnih rešaka ili s prekidima, t. j. tako, da se u pojedinim fazama betoniraju određeni odsječci. Kontinuirani rad predstavlja najpovoljniju organizaciju radova i daje najveća napredovanja, jer je kapacitet uređaja za betoniranje redovito velik i iznosi oko 10—20 m³ betona na sat, što kod kontinuiranog trosmjenskog rada može dati i 50 m betoniranja svoda dnevno, a i više, već prema profilu tunela.

Iz izloženog se vidi maksimalna upotreba mehanizacija, što omogućuje postizavanje izvanredno brzih napredovanja radova. Na taj se način mogu objekti odnosno postrojenja izgraditi u znatno kraćim rokovima, što svakako u znatnoj mjeri povećava ekonomičnost pothvata.



Sl. 8. Betonski vlak: tunelska mješalica s pneumatskim topom

U praksi se, naravno susreću najrazličitiji tipovi primijenjene specijalne građevinske opreme za takve radove. Tu su vrlo interesantna nastojanja građevinske operative u Austriji, gdje je u cilju štednje deviza sa uspjehom primjenjena standardna građevinska mehanizacija, prerađena na izmijenjene uslove rada u tunelu (kao na pr. obične bubanjske miješalice za beton, betonske pumpe, obični vagoneti za dopremu agregata i sl.) [3].

**Primijenjene metode kod HE »Gojak«**

Organizacija izgradnje dviju dionica dovodnog tunela s primjenom suvremenih metoda građenja bila je postavljena tako, da se najprije u potpunosti izvršio sav iskop, a tek onda prešlo na betoniranje. Na taj se način mislilo postići najveća brzina izvođenja radova, što međutim nije uspjelo realizirati (uglavnom kod iskopa tunela), i to s ovih razloga:

a) nedostajanje dovoljno brizantnog eksploziva, koji bi omogućio napredovanja u jednom otpucaju od barem 2,50 m (povremeno je dobavljen takav eksploziv iz uvoza uz cijenu i od preko 1 500 Din za kg, t. j. više od sedam puta skuplje od domaćeg amonala).

b) nemogućnosti primjene suvremenog i efikasnijeg električnog paljenja mina s kapslama s usporenjem, i to zbog teškoća oko nabave iz uvoza uz neku prihvatljivu cijenu (bila je nabavljena svega jedna mala količina za pokuse uz cijenu od 290 Din za 1 kapslu!);

c) nailazak na mjestimične slabije geološke odnose tla, gdje se nije moglo s iskopom dalje napredovati u punom profilu, već se odnosni potez izvodio klasičnom standardnom metodom sa drvenom podgradom (u pojedinim slučajevima naišlo se na kamine ispunjena pijeskom i šutom, iz kojih je trebalo izvući pod vrlo teškim okolnostima znatne količine materijala);

d) potreba naknadnog dotjerivanja iskopanog profila, jer se kod iskopa u punom profilu nastojalo ne prekoračiti dopušteni prekoprofilni iskop (10%) od iskopa). Kod primjene suvremenih metoda zbog veće brzine rada, primjene duljih mina s odgovarajućim jačim punjenjem i t. d. postizava se redovito daleko veći prekoprofil, pa je nastojanje da se taj ograniči na što manju mjeru dovelo do izvjesnog zakašnjenja u dovršenju iskopa, t. j. potrebe naknadnog dotjerivanja profila.

Usprkos nedovoljno jake i nekompletne mehanizacije za iskop postignuta su u slučaju povoljnih geoloških uslova dosta lijepa napredovanja, i to do maksimalno 10 m dnevno u punom profilu, a u najboljem mjesecu ukupno cca 160 m (cca 6.3 m dnevno u prosjeku), dok je godišnji i višegodišnji prosjek, zbog prije navedenih teškoća bio znatno manji i iznosio je oko 4,5—5,0 m dnevno). Prvotnim operativnim planom bilo je predviđeno prosječno napredovanje od čak 12 m dnevno; naravno, jer se nije računalo s takvim teškoćama, osobito onima geološke prirode, koje su se pokazale kod izvedbe radova.

Iz izloženog se vidi, da je odabrana koncepcija slijeda izvođenja iskopnih i betonskih radova bila ispravno odabrana iako se nisu u potpunosti ostvarili predviđeni uslovi. Istovremeno izvođenje iskopnih i betonskih radova kod relativno tako malog promjera tunela teško bi se moglo efikasno provesti.

Kod rješavanja daljnjeg važnog principijelnog pitanja t. j. pitanja izvođenja obloge u jednoj ili više faza, odlučilo se izvođačko poduzeće na primjenu zatvorene kružne čelične oplate uz izvođenje obloge u jednoj fazi. To je bilo donekle smjelo nastojanje i predstavljalo je svakako najkvalitetnije, ali ujedno i najteže rješenje. U primjeni se nije moglo u potpunosti realizirati prvotno zamišljena metoda, pa se došlo do uvjerenja, da je izvedba obloge u jednoj fazi skopčana s odviše velikim teškoćama.

S naprijed navedenih razloga izvođačko poduzeće moglo je za betoniranje u tunelu nabaviti samo određeni broj elemenata čelične teleskopske oplate, te pneumatski top za ubacivanje betona u oplatu, kao i poluautomatsku betonaru sa zapreminskim doziranjem agregata s miješalicom od 1000 lit., koja prema potrebi služi i za izvođenje betonskih radova van tunela.

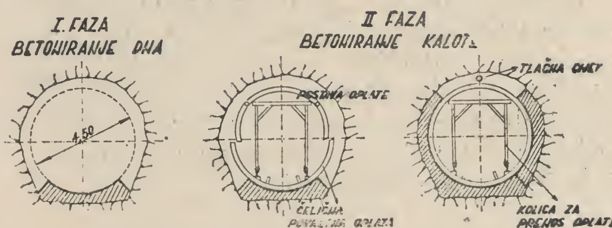
Naravno da uslijed takve nekompletnosti primjenjene mehanizacije nije mogao biti postignut onaj optimalni efekat, kako po količini, tako i po kvaliteti, kako se to inače postizava na sličnim gradnjama u inozemstvu.

Primjenjena je stoga ova metoda:

— priprema (miješanje) betona van tunela u poluautomatskoj betonari s jednom miješalicom od 1000 l;
— dovoz betonske mješavine običnim vagonetima-prevrtačima;
— prevrtanje betona iz vagoneta i ubacivanje u topove pomoću malog transportera (u prvo vrijeme vršeno je to ubacivanje ručno!);
— ubacivanje betona u čeličnu teleskopsku oplatu pneumatskim topom korisne sadržine 0,75 m³;
— vibriranje čelične oplate oplatnim vibratorima i pervibratorima kroz revizione otvore.

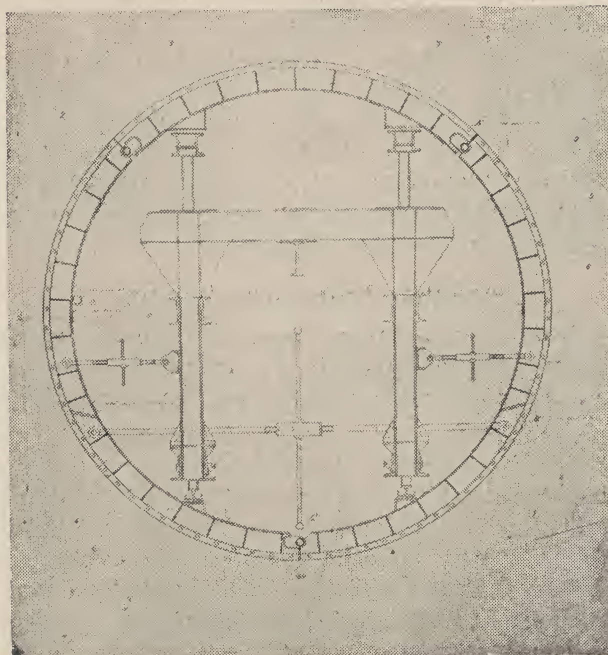
Najveći nedostatak primijenjene metode bio je u tome, što se miješanje betona nije vršilo u tunelu, već se uvozila gotova betonska mješavina. S obzirom na znatnu dužinu transporta (do cca 2 km) i opasnost od segregacije betonske mješavine morao se primijeniti beton prilično krute konsistencije, koji je bio teško ugradiv, to više, što se upotrebljavao isključivo drobljeni agregat.

Daljnja teškoća bila je u primjeni zatvorene kružne teleskopske čelične oplate za izvedbu betonske obloge u svega jednoj fazi rada. U samom početku rada pokazalo se, da zbog postizavanja bolje kvalitete betonske obloge ovu treba izraditi u više faza, jer je djelovanje oplatnih vibratora bilo nedovoljno, da obradi sav beton, a međuprostor između stijene i oplate bio je premalen, da bi u njemu mogao raditi betonirac s pervibratorom. Shematski prikaz razrađenog načina betoniranja betonske tunelske obloge prikazan je u sl. 9. Iz te




Sl. 9. Shematski prikaz betoniranja tunelske obloge HE »Gojak«

slike se vidi, da se po odabranoj metodi najprije izvodi dno bez upotrebe oplate. Na nj se odmah po svršetku betoniranja, dakle dok je beton još svjež, postavlja čelična oplata i završi betoniranje gornjeg dijela obloge ubacivanjem betona pomoću pneumatskog uređaja i obradom betona pervibratorima i oplatnim vibratorima. Prema tome postoje stvarno dvije međufaze, koje međutim slijede tako brzo jedna za drugom, da se praktično redovito izbjegava nastajanje uzdužnih radnih rešaka između tih faza. Prikazani način razrađen je u praksi i utvrđen kao najpovoljniji s obzirom na raspoloživu opremu i prilike. Pokazao se potrebnim prema prvotno zamišljenoj metodi uglavnom zbog osobito teške ugradivosti betona, koji se izrađuje isključivo od drobljenog agregata s dodatkom od 280 kg cementa i vrlo slabo plastičnom konsistencijom. Poboljšanju ugradljivosti betona povećanjem udjela sitnijih frakcija nije se htjelo pristupiti zbog visokih zahtjeva na kvalitet betona, a nije se raspo-

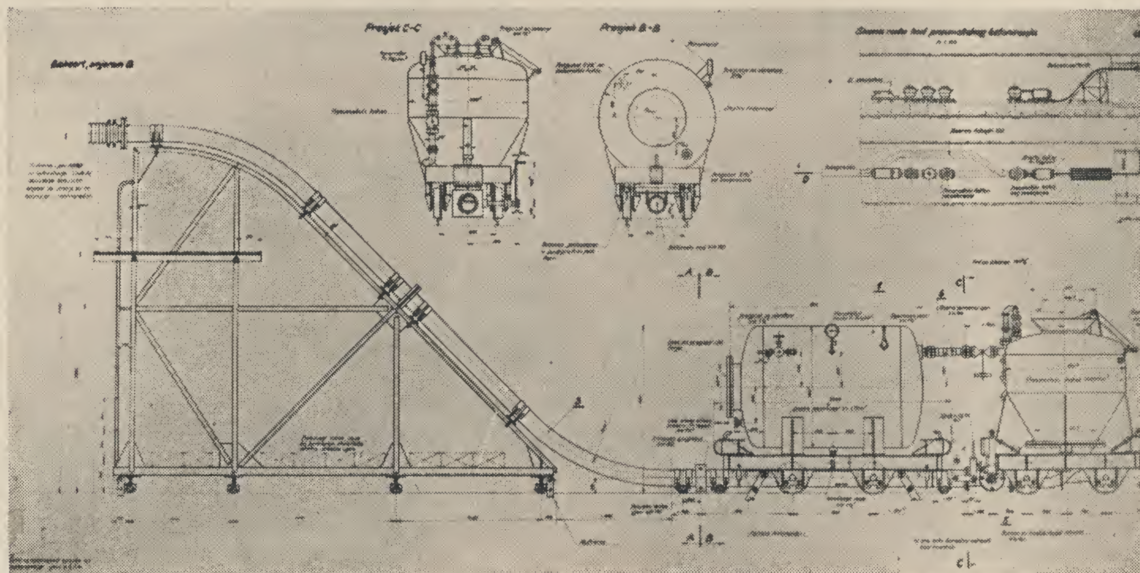


Sl. 10. Čelična oplata (Projekat »Hidroelektra«, izrada »Hidromontaža«, Maribor)

lagalo ni s podesnim plastimentima. Nakon što je poslije početnih poteškoća razrađena opisana metoda izrade obloge, stalno se postizavao traženi najbolji kvalitet betona i obloge.

Treba napomenuti, da je cjelokupnu građevinsku mehanizaciju za izvođenje betonskih radova projektiralo izvođačko poduzeće (glavni projektant Ing. Zdravko Linarić), a izvela ju je naša domaća industrija bez angažiranja ikakvih deviznih sredstava. To je prvi slučaj izrade i primjene takvih sredstava u našoj državi.

od 250 do 300 m mjesečno, sa višekratno postignutim dnevnim maksimumom od 16 m dnevno, te kod transportne daljine betona oko 2,0 km. Na temelju dosadašnjih iskustva predviđa se, da će ti rezultati biti osjetljivo premašeni kod kraćih dužina transporta. S obzirom na to, da se ta oprema i metoda primijenjuju po prvi puta u našoj državi, te da se prethodno nije raspolagalo s nikakvim konkretnim iskustvima osim oskudnih podataka iz inostrane stručne literature, ovo se može smatrati velikim i potpunim uspjehom naše operative.



Sl. 11. Pneumatski top (Projekat »Hidroelektra«, izrada »Jugomontaža«, Zagreb)

Sva ta mehanizacija zadovoljila je u praksi u potpunosti. To predstavlja izvanredan uspjeh izvođačkog poduzeća i naše domaće industrije, koja je surađivala na tome. Takva požrtvovna nastojanja izvođačkog poduzeća lako su razumljiva, ako se ima u vidu, da je hidroelektrana »Gojak« jedino od svih dosada izgrađenih i u gradnji nalazeći se većih postrojenja, kod kojeg nisu bila osigurana nikakva devizna sredstva za nabavu odnosno upotpunjenje građevinske mehanizacije.

**Kvalitet i brzina napredovanja**

Traženi prvorazredni kvalitet betonske obloge postignut je tek nakon što je omogućena efikasna obrada betona jakim zračnim pervibratorima. Prema tome pokazalo se nedovoljnim osloniti se na djelovanje oplatnih vibratora. Nakon što je opisana metoda bila uvedena, nije više bilo nikakvih prigovora kvalitetu od strane nadzora. Ispitivanje pokusnih tjelesa vršeno je stalno i dalo dobre rezultate. Isto tako vršena su i povremena ispitivanja iz obloge isklesanih betonskih kocaka.

Nakon što je radni proces potpuno uhodan, postizavane su za naše prilike odlične brzine izvođenja, i to po radnom mjestu (ekipi betoniranja)

**Ekonomski efekat**

Prema analiziranim i ponuđenim jediničnim cijenama izvođača, po kojima se obračunavaju radovi, slijedi, da je betoniranje uz primjenu suvremenih metoda i sredstava jeftinije za cca 20% od betoniranja po standardnim metodama s ručnim ubacivanjem u oplatu od dasaka obloženih limom i čeličnih remenata. Vjerojatno je razlika u jediničnim cijenama stvarno nešto manja, i to s razloga, što su kod tih analiza amortizacioni troškovi mehanizacije bili sadržani u t. zv. faktoru općih troškova, koji se obračunava na plaće izrade. Takav način proračuna cijena daje za pojedine cijene nerealne veličine i odnose. Konkretno daje za mehanizirane radove (s malo plaća izrade) preniske cijene, a za nemehanizirane radove (s mnogo plaća izrade) previsoke cijene. Ako nadalje uzmemo u obzir, da kod primjene suvremenih metoda treba vjerojatno računati s većim prekoprofilskim iskopom i odgovarajući većim količinama betona za oblogu, takve suvremene metode građenja nisu u našim sadašnjim prilikama bitno jeftinije od dosadašnjih standardnih metoda. Svakako, takva konstatacija odgovara samo našim prvim iskustvima, gdje se nije moglo postići bolje iskorištenje mehanizacije i odgovarajuća veća ekonomičnost.

Međutim, usprkos tome, što se u samim troškovima građenja zasada, t. j. kod prve primjene, nije pokazao neki značajniji efekat novih metoda, postignut je ipak pun uspjeh s obzirom na brzinu građenja i mogućnost dovršenja ranijeg postrojenja, jer je na takav način postignuta barem 4 puta veća brzina izvedbe betonske obloge prema dosadašnjim standardnim metodama. Upravo to je od najveće važnosti i od daleko većeg utjecaja na ukupnu ekonomičnost nego postizavanje eventualnih prividnih ušteda u troškovima građenja prigodom ugovaranja radova.

Kod nas se još i dandanas ne pazi dovoljno na ovaj itekako važni momenat, koji u pojedinim slučajevima može čak i ugroziti rentabilnost pothvata. Na suvremeno opremljenim gradnjama u inostranstvu redovita je pojava, da gradnja raspolaže sa daleko većim brojem i kapacitetom mehanizacije nego što se to čini potrebnim prema našim, da ih tako nazovemo »štedljivim« kriterijima. Takva mehanizacija korisna je i u slučajevima kad ona garantira bolji i jednoličniji kvalitet i skraćuje rok objekta.

Bilo bi na mjestu, da se tome pitanju kod nas ubuduće posveti više pažnje, jer se uobičajenim odugovlačenjem dovršetka izgradnje velikih i najvećih investicionih objekata nanose ogromne štete našoj zajednici.

### Zaključak

Iz naprijed iznesenog vidi se ovo:

— da su tek djelomično primijenjene suvremene metode građenja, t. j. da su zbog nedostajanja potpune mehanizacije primijenjene s promjenama odnosno pojednostavnjenjima;

— da su i takova pojednostavnjenja i manje mehanizirane metode pokazale u praksi vrlo dobre rezultate, u prvom redu što se tiče kvalitetnog izgleda betonske obloge i brzine napredovanja;

— da za postizavanje propisane kvalitete i potrebnog napredovanja kod tako dugih tunela neophodno treba provesti miješanje betona u tunelu;

— da je svakako uputno betoniranje obloge izvoditi barem u 2 faze;

— da je daleko lakše betoniranje izvoditi tek po dovršenom iskopu, u svakom slučaju, da je neophodno potrebno kod slabijih geoloških prilika izvršiti osiguranje iskopanog profila na jedan od suvremenih načina;

— da je s uspjehom primijenjena specijalna mehanizacija vlastite konstrukcije, izrađena od naše industrije; to se prvenstveno odnosi na specijalnu teleskopsku oplatu i uređaje za pneumatsko ubacivanje betona;

— da se primjenom potpunije mehanizacije može računati s prosječnim dnevnim napredovanjem od barem 15 m dnevno, a s vremenom, t. j. nakon daljnjih iskustava, još i više; da će se s toga još u većoj mjeri povećati ekonomski efekat primjene ovih metoda građenja;

— da je postignut pun uspjeh tog pothvata i da su uspješno učinjeni prvi koraci bržem i racionalnijem građenju, s time u vezi da ne treba sa skepsom gledati na mogućnosti naše specijalizirane građevinske operative i da joj treba sa više razumijevanja omogućiti nabavu neophodne opreme za suvremeno izvođenje. Samo na takav način moći će se postići veći uspjesi i dalji napredak.

### Literatura:

[1] TVA (Tennessee Valley Authority — Techn. Report, N⁰ 5/Vol. 2, 1947.

[2] TVA (Tennessee Valley Authority — Techn. Report, N⁰ 21, 1947.).

[3] »Bau von Triebwasserstollen grösseren Querschnittes« Oesterr. Bauzeitschrift, N⁰ 4/1956.

[4] »Sa gradnje HE Schwarzach«, »Građevinar«, br. 10/57.

[5] »Izgradnja dovodnog tunela HE Gojak« »Građevinar«, br. 2/56.

[6] »Proizvodnja agregata i priprema betona na gradilištu Drenovac (HE »Gojak«). »Građevinar«, posebni broj iz 1956. god.

[7] »Iskop dionice Drenovac—Gojak primjenom suvremenih metoda rada«. »Građevinar«, br. 2/56.

[8] »Suvremene metode na betoniranju dovodnog tunela za HE Gojak«. »Građevinar«, br. 4/56.

# NEPOSREDNO IZNALAŽENJE UTICAJNIH LINIJA ZA UNUTARNJE SILE U OKVIRNIM SISTEMIMA NOSAČA METODOM DEFORMACIJA (POSTUPAK NUL-POLJA)

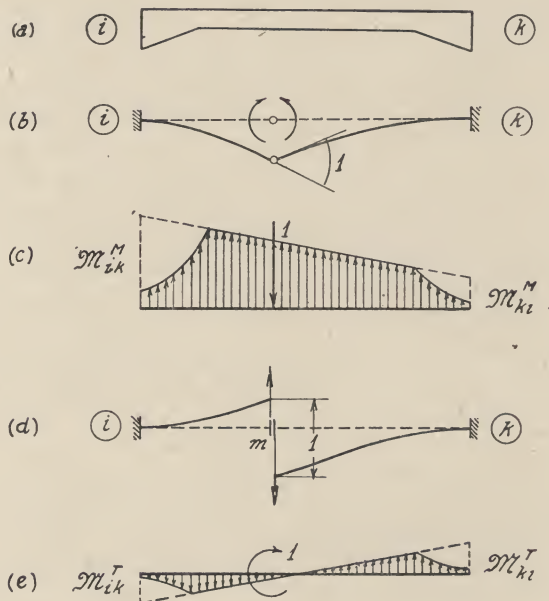
Prof. em. Dr. Ing. **Rajko Kušević,** Zagreb

(Svršetak iz br. 1/1957)

### II. Okvirni sistemi nosača s pravim štapovima promjenljivog momenta tromosti presjeka

Obrasce za određivanje ležišnih momenata štapa $i-k$ s promjenljivim momentom tromosti presjeka (sl. 13a), proizvedenih jediničnom deformacijom u nul-polju momenta savijanja (sl. 13b i 13c), dobivamo, kao i kod štapa s konstantnim momentom tromosti presjeka, iz uslova, da su kutevi zaokretanja ležišnih presjeka jednaki nuli. Po Mohru to znači, da reducirana momentna površina i pojedinačna sila 1 u presjeku $m$, uzete kao tereti na prostoj gredi $i-k$, ne proizvode ležišnih reakcija

na toj gredi. (Drugim riječima: reducirana momentna površina i sila $1_m$ sačinjavaju uravnoteženi sistem sila.)




Sl. 13a - e

Rastavimo li trapeznu momentnu površinu na sl. 13c u dvije trokutne površine i označimo li sa $\mathfrak{M}^M_{ik}\,\alpha_{ik}$ i $\mathfrak{M}^M_{ki}\;\beta_{ik}$ lijevu i desnu ležišnu reakciju od donje reducirane trokutne površine, a sa $\mathfrak{M}^M_{ki}\;\beta_{ki}$ i $\mathfrak{M}_{ki}\,\alpha_{ki}$ lijevu i desnu ležišnu reakciju od gornje reducirane trokutne površine, daju nam uslovi, da su ležišne reakcije od reducirane momentne površine i sile $1_m$ jednake nuli, jednadžbe

$$(29)\quad \begin{cases} \mathfrak{M}^M_{ik}\,\alpha_{ik} + \mathfrak{M}^M_{ki}\,\beta_{ik} - 1\cdot\dfrac{x'_m}{l_{i-k}} = 0, \\[2ex] \mathfrak{M}^M_{ik}\,\beta_{ki} + \mathfrak{M}^M_{ki}\,\alpha_{ki} - 1\cdot\dfrac{x_m}{l_{i-k}} = 0. \end{cases}$$

$\alpha_{ik}$, $\beta_{ik}$ i $\beta_{ki}$, $\alpha_{ki}$ su ležišne reakcije od reduciranih trokutnih površina za $\mathfrak{M}^M_{ik} = 1$ odn. $\mathfrak{M}^M_{ki} = 1$; to su, dakle, kutevi zaokreta ležišnih presjeka proste grede $i - k$, napregnute u ležišnom presjeku $i$ odn. $k$ jediničnim momentom.

Rješenje jednadžbi (29) daje, sa $\beta_{ik} = \beta_{ki}$, za ležišne momente izraze

$$\mathfrak{M}^M_{ik} = \frac{\alpha_{ki}}{\alpha_{ik}\,\alpha_{ki} - \beta_{ik}^2}\cdot\frac{x'_m}{l_{i-k}} - \frac{\beta_{ik}}{\alpha_{ik}\,\alpha_{ki} - \beta_{ik}^2}\cdot\frac{x_m}{l_{i-k}}$$

$$\mathfrak{M}^M_{ki} = \frac{\alpha_{ik}}{\alpha_{ik}\,\alpha_{ki} - \beta_{ik}^2}\cdot\frac{x_m}{l_{i-k}} - \frac{\beta_{ki}}{\alpha_{ik}\,\alpha_{ki} - \beta_{ik}^2}\cdot\frac{x'_m}{l_{i-k}}$$

Koeficijenti apsolutnih članova $x'_m/l_{i-k}$ i $x_m/l_{i-k}$ imaju po poznatim obrascima metode deformacija jednostavno statičko značenje; to su ležišni momenti obostrano uklijěstenog štapa $i - k$, kojemu se težišni presjek $i$ odn. $k$ zaokreće za kut 1 (v. sl. 3a i 3b). Prema tome rješenje (29) dobiva, s predznacima po metodi deformacija, oblik

$$(30)\quad \begin{cases} \mathfrak{M}^M_{ik} = -\left(A_{ik}\dfrac{x'_m}{l_{i-k}} - B_{ik}\dfrac{x_m}{l_{i-k}}\right), \\[2ex] \mathfrak{M}^M_{ki} = +\left(A_{ki}\dfrac{x_m}{l_{i-k}} - B_{ik}\dfrac{x'_m}{l_{i-k}}\right). \end{cases}$$

Analogne jednadžbe za određivanje ležišnih momenata obostrano uklijěstene grede, proizvedenih jediničnom deformacijom u nul-polju transversalne sile (sl. 13 d i e), glase

$$(31)\quad \begin{cases} \mathfrak{M}^T_{ik}\,\alpha_{ik} - \mathfrak{M}^T_{ki}\,\beta_{ik} - \dfrac{1}{l_{i-k}} = 0, \\[2ex] \mathfrak{M}^T_{ik}\,\beta_{ki} - \mathfrak{M}^T_{ki}\,\alpha_{ki} + \dfrac{1}{l_{i-k}} = 0. \end{cases}$$

One daju rješenje

$$(32)\quad \begin{cases} \mathfrak{M}^T_{ik} = \dfrac{1}{l_{i-k}}\,(A_{ik} + B_{ik}), \\[2ex] \mathfrak{M}^T_{ki} = \dfrac{1}{l_{i-k}}\,(A_{ki} + B_{ki}), \end{cases}$$

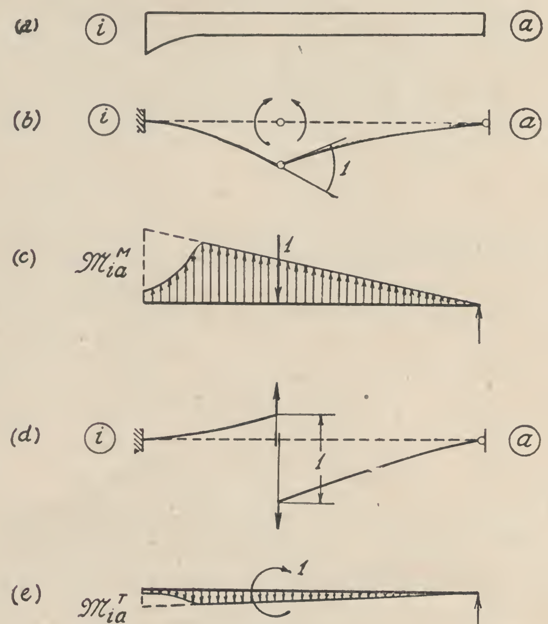
koje s oznakama

$$(33)\quad \begin{cases} A_{ik} + B_{ik} = C_{ik}, \\ A_{ki} + B_{ki} = C_{ki}, \end{cases}$$

dobiva jednostavan oblik

$$(32a)\quad \begin{cases} \mathfrak{M}^T_{ik} = \dfrac{C_{ik}}{l_{i-k}}, \\[2ex] \mathfrak{M}^T_{ki} = \dfrac{C_{ki}}{l_{i-k}}. \end{cases}$$

Za jednostrano uklijěsten, na drugom kraju zglobno priključen štap $i - a$ s jediničnom deformacijom u nul-polju momenta savijanja $M_m$ (sl. 14 a, b, c) dobivamo iz uslova ravnoteže sila na sl. 14 c za okretanje oko desnoga kraja štapa jednadžbu




Sl. 14a - e

(34) $$\mathfrak{M}_{ia}(\alpha_{ia}+\beta_{ia})\cdot\frac{\alpha_{ia}}{\alpha_{ia}+\beta_{ia}}\cdot l_{i-a}-1\cdot x'_m=0.$$

Rješenje te jednadžbe glasi, s označenjem

(35) $$\frac{1}{\alpha_{ia}}=D_{ia}$$

i s obzirom na konvenciju o predznacima momenata savijanja u metodi deformacija

(36) $$\mathfrak{M}^{M}_{ia}=-D_{ia}\frac{x'_m}{l_{i-a}}.$$

Koeficijent $D_{ia}$, za koji se može dokazati, da je s veličinama $A_{ia}$ i $B_{ia}$ povezan odnosom $D_{ia}=A_{ia}-B_{ia}^2/A_{ai}$, ima značenje ležišnog momenta jednostrano uklijėštene grede $i—a$, kojoj se ležišni presjek $i$ zaokreće za kut $\varphi_i=1$ (v. sl, 4 a). Za isti štap s jediničnom deformacijom u nul-polju transversalne sile (sl. 14 d, c) glasi uslov, da je vertikalna reakcija ležištu $i$ jednaka nuli:

(37) $$\mathfrak{M}^{T}_{ia}\,\alpha_{ia}-\frac{1}{l_{i-a}}=0.$$

On daje, s obzirom na obrazac (35), rezultat

(38) $$\mathfrak{M}^{T}_{ia}=+\frac{1}{l_{i-a}}D_{ia}.$$

Daljnji rad na izračunavanju uticajnih linija načelno je isti kao i kod sistema sa štapovima konstantnog presjeka. Prvo se iz ležišnih momenata $\mathfrak{M}^{S}_{ik}$ i $\mathfrak{M}^{S}_{ki}$ odn. $\mathfrak{M}^{S}_{ia}$ izračunaju apsolutni članovi uslovnih jednadžbi i riješe te jednadžbe. Zatim se s tako dobivenim komponentama stanja pomaka sistema nosača izračunavaju same uticajne linije pojedinih statičkih veličina, po obrascima (8a, b), (12) i (16) do (27). Vrijednosti ležišnih momenata $\mu$ i $\mu'$ odn. $\mu^{(a)}$ u tim obrascima dane su za različite jednostavne zakone promjenljivosti momenata tromosti presjeka štapova tabelarno ili u dijagramima u djelima, koja obrađuju metodu deformacija [1], [2].

## III. Okvirni sitemi nosača sa zakrivljenim štapovima s konstantnim ili promjenljivim momentom tromosti presjeka

Obrasci za neposredno određivanje uticajnih linija statičkih veličina u sistemima okvirnih nosača sa zakrivljenim štapovima mogu se u načelu izvesti na isti način kao i kod sistema nosača s pravim štapovima. Osnovni zadatak — iznalaženje obrazaca za ležišne momente zakrivljenog štapa $i-k$ u geometrijski određenom osnovnom sistemu, proizvedene jediničnom deformacijom u nul-polju unutarnje sile $S_m$ —, koji se ovdje još proširuje iznalaženjem lučnog potiska, lako se može riješiti s pomoću Mohrovih stavaka za lučni štap. Izvod tih obrazaca kao i praktična primjena postupka kod takvih sistema okvirnih nosača bit će pokazani drugom prilikom.*

### Brojčani primjeri

Praktična primjena naprijed izloženog postupka za neposredno iznalaženje uticajnih linija statičkih veličina u metodi deformacija bit će pokazana na dva okvirna sistema nosača s prävim štapovima konstantnog momenta tromosti presjeka. U prvom primjeru obrađen je sistem s vertikalnim stupovima, a u drugom razuporni okvir s kosim stupovima. U oba se slučaja radi o sistemu nosača s jednom slobodom kretanja kinematskog lanca štapova. Uslovne jednadžbe za izračunavanje nepoznatih komponenti stanja deformacije nosača — kuteva zaokretanja čvorova $\varphi_i$ i nezavisnog kuta zaokretanja štapa $\vartheta_I$ — imaju prema tome ovaj oblik:

jednadžbe čvorova

(39) $$L_{ii}\varphi_i+\sum_k L_{ik}\varphi_k+L_{iI}\vartheta_I=L_i;$$

jednadžba pomaka

(40) $$\sum_i L_{Ii}\varphi_i+L_{II}\vartheta_I=L_I.$$

Koeficijenti nepoznanica u ovim jednadžbama definirani su općenito obrascima

(41) $$\begin{cases} L_{ii}=\sum\limits_k A_{ik}+\sum\limits_a D_{ia},\\ L_{ik}=B_{ik},\\ L_{iI}=L_{Ii}=-\sum\limits_k C_{ik}\,\psi_{i-k,\,I}-\\ \qquad\sum\limits_a D_{ia}\,\psi_{i-a,\,I},\\ L_{II}=\sum\limits_{i-k}(C_{ik}+C_{ki})\,\psi^2_{i-k,\,I}+\\ \qquad\sum\limits_{i-a} D_{ia}\,\psi^2_{i-a,\,I}, \end{cases}$$

koji za sisteme nosača sa štapovima konstantnog presjeka poprimaju oblik

(42) $$\begin{cases} L_{ii}=4\sum\limits_k K_{i-k}+3\sum\limits_a K_{i-a},\\ L_{ik}=2K_{i-k},\\ L_{iI}=L_{Ii}=-6\sum\limits_k K_{i-k}\,\psi_{i-k,\,I}\\ \qquad-3\sum\limits_a K_{i-a}\,\psi_{i-a,\,I},\\ L_{II}=12\sum\limits_{i-k} K_{i-k}\,\psi^2_{i-k,\,I}\\ \qquad+3\sum\limits_{i-a} K_{i-a}\,\psi^2_{i-a,\,I}, \end{cases}$$

a u kojima znači:

$\psi_{i-k,\,I}$ kut zaokretanja obostrano čvrsto priključenog štapa $i-k$, proizveden deformacijom $\vartheta_I=1$ u kinematskom lancu sistema, $\psi_{i-a,I}$ kut zaokretanja jednostrano čvrsto priključenog štapa $i-a$, proizveden istom deformacijom u kinematskom lancu.

---

* Obrasce za ležišne momente obostrano potpuno uklijėštenog lučnog štapa, prouzročene jediničnom deformacijom u nul-polju momenta savijanja, transversalne sile i normalne sile u presjeku $m$, pisac je izveo drugim putem u jednom ranijem radu [3], [3a].

Apsolutni članovi uslovnih jednadžbi određeni su obrascima

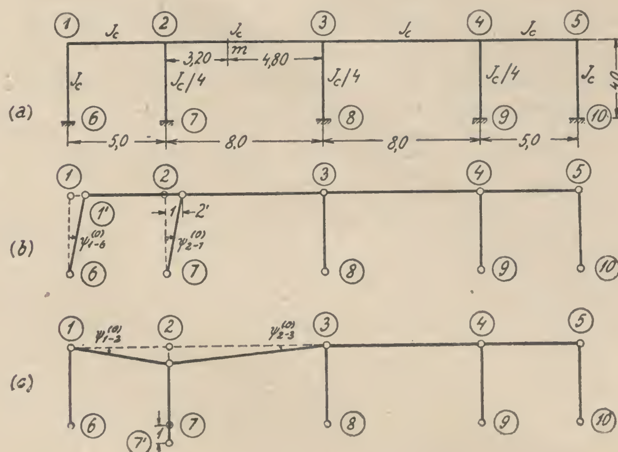
$$(43)\quad \begin{cases} L_i = -\sum\limits_k \mathfrak{M}_{ik} - \sum\limits_a \mathfrak{M}_{ia}, \\ L_I = +\sum\limits_{i-k} (\mathfrak{M}_{ik} + \mathfrak{M}_{ki})\, \psi_{i-k,\,I} + \\ \quad + \sum\limits_{i-a} \mathfrak{M}_{ia}\, \psi_{i-a,I}, \end{cases}$$

u kojima $\mathfrak{M}_{ik}$, $\mathfrak{M}_{ki}$ i $\mathfrak{M}_{ia}$ označuju ležišne momente štapova $i-k$ i $i-a$ u geometrijski određenom osnovnom sistemu nosača, proizvedene jediničnom deformacijom u nul-polju unutarnje sile $S_m$, za koju se traži uticajna linija. Te su veličine pri izvođenju obrazaca za njihovo izračunavanje u prvom dijelu ove rasprave označene gornjim indeksom $S$ (na pr. $M^{M}_{ik}$, $M^{T}_{ik}$); isto tako bi, stvarno, morale biti označene i komponente stanja deformacija u uslovnim jednadžbama (29) i (30). U praktičnoj primjeni postupka ispustit ćemo, jednostavnosti radi, te gornje indekse.

Kutevi zaokreta štapova u danom sistemu nosača, proizvedeni djelovanjem u nul-polju, za koje se uticajna linija dobiva kao elastična linija opterećenog pojasa nosača, dobivaju se izračunavanjem po obrascu

$$(33)\quad \begin{cases} \psi_{i-k} = \psi_{i-k,\,I} \cdot \vartheta_I, \\ \psi_{i-a} = \psi_{i-a,\,I} \cdot \vartheta_I. \end{cases}$$

P r i m j e r 1.* Simetričan kontinuirani okvir preko četiri polja (sl. 15a). Traže se uticajne linije za unutarnje sile u presjeku $m$ grede u drugom




Sl. 15a - c

polju, zatim za moment savijanja u presjeku na vrhu drugoga stupa i za vertikalnu reakciju u ležištu istoga stupa.

* Primjer je uzet iz osnovnog djela prof. M a n n-a o metodi deformacija [4], zbog načelnog uspoređenja postupaka izračunavanja. Brojčano se rezultati ne mogu uspoređivati, jer su se pri obradi tog primjera u navedenom djelu potkrale grube greške pri rješavanju sistema uslovnih jednadžbi.

Greda ima na cijeloj dužini konstantan momenat tromosti presjeka $J_c$; presjeci krajnjih stupova imaju isti momenat tromosti $J_c$, a presjeci unutarnjih stupova $J_c/4$.

*Izrazi* (42) *za koeficijente nepoznanica* u uslovnim jednadžbama pojednostavnjuju se time, što se pri pomaku $\vartheta_I = 1$ zaokreću samo stupovi, i to svi za isti kut $\psi_{i-k,I} = 1$, kao i time, što otpadaju članovi, koji se odnose na štapove sa zglobnim priključkom na jednom kraju. Prema tome imaju koeficijenti nepoznanica, sa $EJ_c = 1$, $K_{i-k} = 1/l_{i-k}$, vrijednosti

$$L_{11} = 4\left(\frac{1}{4{,}0} + \frac{1}{5{,}0}\right) = 1{,}8,$$

$$L_{22} = L_{44} = 4\left(\frac{1}{5{,}0} + \frac{1}{4.4{,}0} + \frac{1}{8{,}0}\right) = 1{,}55,$$

$$L_{33} = 4\left(\frac{1}{8{,}0} + \frac{1}{4.4{,}0} + \frac{1}{8{,}0}\right) = 1{,}25,$$

$$L_{12} = L_{21} = 2 \cdot \frac{1}{5{,}0} = 0{,}40,$$

$$L_{23} = L_{32} = 2 \cdot \frac{1}{8{,}0} = 0{,}25,$$

$$L_{1I} = L_{I1} = L_{5I} = L_{I5} = -6 \cdot \frac{1}{4{,}0} = -1{,}50,$$

$$L_{2I} = L_{I2} = L_{3I} = L_{I3} = L_{4I} = L_{I4} = -6 \cdot \frac{1}{4.4{,}0} = -0{,}375,$$

$$L_{II} = 12\left(\frac{1}{4{,}0} + \frac{1}{16{,}0} + \frac{1}{16{,}0} + \frac{1}{16{,}0} + \frac{1}{4{,}0}\right) = 8{,}25.$$

S tim koeficijentima dobivamo po obrascima (39) i (40) sistem uslovnih jednadžbi, prikazan u tablici I.

T a b l i c a I. Uslovne jednadžbe

| | $\varphi_1$ | $\varphi_2$ | $\varphi_3$ | $\varphi_4$ | $\varphi_5$ | $\vartheta_I$ | $L_r$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (1) | 1.8 | 0 4 | — | — | — | —1.5 | $L_1$ |
| (2) | 0.4 | 1,55 | 0.25 | — | — | —0.375 | $L_2$ |
| (3) | — | 0.25 | 1.25 | 0.25 | — | —0.375 | $L_3$ |
| (4) | — | — | 0,25 | 1.55 | 0,4 | —0.375 | $L_4$ |
| (5) | — | — | — | 0.4 | 1,8 | —1.5 | $L_5$ |
| (I) | —1.5 | —0.375 | —0,375 | —0,375 | —1.5 | 8.25 | $L_I$ |

*Vrijednosti apsolutnih članova u uslovnim jednadžbama.*

a) Jedinična deformacija u smislu dvojnog momenta $-M_m$ u presjeku $m$ štapa $2-3$, s apscisom mjerenom od lijevog odn. desnog kraja štapa $x_m = 3{,}20$ m, $x'_m = 4{,}80$ m, proizvodi po obr. (3) ležišne momente obostrano ukliještenog štapa $2-3$:

$$\mathfrak{M}_{23} = -\frac{2}{8{,}0^2}(2 \cdot 4{,}80 - 3{,}20) = -0{,}200,$$

$$\mathfrak{M}_{32} = +\frac{2}{8{,}0^2}(2 \cdot 3{,}20 - 4{,}80) = +0{,}050.$$

Prema tome se po obr. (42) dobivaju ovi od nule različiti apsolutni članovi:

$$L_2 = -\mathfrak{M}_{23} = 0{,}200,\ L_3 = -\mathfrak{M}_{32} = -0{,}050.$$

b) Jedinična deformacija u nul-polju transversalne sile $T_m$ u smislu dvojne sile $-T_m$ proizvodi ležišne momente

$$\mathfrak{M}_{23} = \mathfrak{M}_{32} = +\frac{6}{8{,}0^2} = +0{,}009375,$$

što daje od nule različite apsolutne članove:

$$L_2 = L_3 = -\mathfrak{M}_{23}^{T} = -0{,}009375.$$

c) Jedinična deformacija u nul-polju normalne sile $N_m$ u smislu dvojne sile $-N_m$, t. j. skraćenje štapa 2 — 3 za jedinicu dužine, proizvodi u kinematskom lancu štapova prema sl. 15b zaokretanja štapova 1 — 6 i 2 — 7 za kut

$$\psi_{1-6}^{(0)} = \psi_{2-7}^{(0)} = \frac{1}{4.0} = 0{,}250.$$

Prema tome nastupaju u geometrijski određenom osnovnom sistemu zbog te deformacije ležišni momenti štapova

$$\mathfrak{M}_{16} = \mathfrak{M}_{61} = -6 \cdot \frac{1}{4{,}0} \cdot 0{,}250 = -0{,}375,$$

$$\mathfrak{M}_{27} = \mathfrak{M}_{72} = -6 \cdot \frac{1}{4 \,.\, 4{,}0} \cdot 0{,}250 = -0{,}09375,$$

koji daju od nule različite vrijednosti apsolutnih članova

$$L_1 = -\mathfrak{M}_{16} = +0{,}375,$$

$$L_2 = -\mathfrak{M}_{27} = +0{,}09375,$$

$$L_I = (\mathfrak{M}_{16} + \mathfrak{M}_{61}) \cdot 1 + (\mathfrak{M}_{27} + \mathfrak{M}_{72}) \cdot 1 =$$
$$= 2\,(-0{,}375 - 0{,}09375) = -\ 0{,}9375.$$

d) Jedinična deformacija u nul-polju momenta savijanja $M_{27}$ u smislu dvojnog momenta $-M_{27}$ proizvodi po obr. (3) ležišne momente obostrano uklije̲štenog štapa

$$\mathfrak{M}_{27} = -\frac{2}{4{,}0^2} \cdot 2 \,.\, 4{,}0 = -1{,}00,$$

$$\mathfrak{M}_{72} = +\frac{2}{4{,}0^2} \cdot (-4{,}0) = -0{,}50.$$

Prema tome imamo od nule različite vrijednsti apsolutnih članova:

$$L_2 = -\mathfrak{M}_{27} = +1{,}00,$$

$$L_I = (\mathfrak{M}_{27} + \mathfrak{M}_{72}) \cdot 1 = -1{,}50.$$

e) Jedinična deformacija u nul-polju vertikalne ležišne reakcije $A_7$ — spuštanje ležišta 7 za iznos 1 — proizvodi pomak kinematskog lanca sistema prema sl. 15c i prema tome zaokretanja štapova u tome lancu za kuteve

$$\psi_{1-2} = +\frac{1}{5{,}0} = +0{,}200,$$

$$\psi_{2-3} = -\frac{1}{8{,}0} = -0{,}125.$$

Ista deformacija proizvodi u geometrijski određenom osnovnom sistemu ležišne momente štapova

$$\mathfrak{M}_{12} = \mathfrak{M}_{21} = -6 \cdot \frac{1}{5{,}0} \cdot 0{,}200 = -0{,}240,$$

$$\mathfrak{M}_{23} = \mathfrak{M}_{32} = +6 \cdot \frac{1}{8{,}0} \cdot 0{,}125 = 0{,}09375.$$

To daje od nule različite apsolutne članove

$$L_1 = -\mathfrak{M}_{12} = +0{,}240,$$

$$L_2 = -(\mathfrak{M}_{12} + \mathfrak{M}_{23}) \cdot 1 = +0{,}14625,$$

$$L_3 = -\mathfrak{M}_{32} = -0{,}09375.$$

Pod a) do e) dobivene vrijednosti apsolutnih članova unesene su u tablicu II.

T a b l i c a II. Apsolutni članovi uslovnih jednadžbi za izračunavanje pojedinih uticajnih linija

| Zadatak | Uticajna linija | $L_1$ | $L_2$ | $L_3$ | $L_4$ | $L_5$ | $L_I$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| a) | $M_m$ | — | +0,200 | —0,050 | — | — | — |
| b) | $T_m$ | — | —0,09375 | —0,09375 | — | — | — |
| c) | $N_m$ | +0,37500 | +0,09375 | — | — | — | —0,9375 |
| d) | $M_{27}$ | — | +1,0 | — | — | — | —1,5 |
| e) | $A_7$ | +0,240 | +0,14625 | —0,09375 | — | — | — |

T a b l i c a III. Opće rješenje uslovnih jednadžbi

| | $L_1$ | $L_2$ | $L_3$ | $L_4$ | $L_5$ | $L_I$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $\varphi_1$ | 0,7154 | —0,1614 | 0,0788 | —0,0093 | 0,1260 | 0,1488 |
| $\varphi_2$ | —0,1614 | 0,7097 | —0,1484 | 0,0252 | —0,0093 | —0,0044 |
| $\varphi_3$ | 0,0788 | —0,1484 | 0,8758 | —0,1484 | 0,0788 | 0,0550 |
| $\varphi_4$ | —0,0093 | 0,0252 | —0,1484 | 0,7097 | —0,1614 | —0,0044 |
| $\varphi_5$ | 0,1260 | —0,0093 | 0,0788 | —0,1614 | 0,7154 | 0,1488 |
| $\vartheta_I$ | 0,1488 | —0,0044 | 0,0550 | —0,0044 | 0,1488 | 0,1775 |

(Ispravnost općeg rješenja najbolje se provjerava tako, da se red $r$ koeficijenata nepoznanica u tablici I multiplicira s redom $r$ uticajnih brojeva u tablici III. Suma tih umnožaka mora biti jednaka 1. Mjesto redova mogu se, razumije se, multiplicirati i kolone.)

Vrijednosti komponenti stanja pomaka sistema $\varphi_i$ i $\vartheta_I$ za iznalaženje pojedinih uticajnih linija dobivaju se iz općeg rješenja sistema uslovnih jednadžbi u tablici I, danog obrascem

(44) $$v_i = \Sigma\, \beta_{ir}\, L_r$$

i prikazanog u tablici III, množeći pojedine redove konjugirane matrice $\beta_{ir}$ u toj tablici s mjerodavnim redom apsolutnih članova u tablici II. Tako, na pr., nepoznanica $\varphi_3$ za slučaj c), t. j. za određivanje uticajne linije $N_m$, ima veličinu

$$\varphi_3 = 0{,}0788 \cdot 0{,}375 - 0{,}1484 \cdot 0{,}09375 +$$
$$+ 0{,}0550 \cdot (-0{,}9375) = -0{,}0359.$$

Rezultati tih jednostavnih računskih operacija za slučajeve a) do e) dani su pregledno u tablici IV,

Tablica IV. Vrijednosti komponenti stanja pomaka za izračunavanje pojedinih uticajnih linija

| Uticajna linija | $\varphi_1$ | $\varphi_2$ | $\varphi_3$ | $\varphi_4$ | $\varphi_5$ | $\vartheta_r$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| a) $M_m$ | — 0,03611 | + 0,14756 | — 0,07343 | + 0,01248 | — 0,00205 | + 0,00354 |
| b) $T_m$ | + 0,00766 | — 0,05207 | — 0,07220 | + 0,01143 | — 0,00645 | + 0,00469 |
| c) $N_m$ | + 0,11364 | + 0,01013 | — 0,03592 | + 0,00300 | — 0,09313 | — 0,11101 |
| d) $M_{27}$ | — 0,38460 | + 0,71680 | — 0,23090 | + 0,03180 | — 0,23250 | — 0,27065 |
| e) $A_6$ | + 0,13979 | + 0,07901 | — 0,08489 | + 0,01537 | + 0,02149 | + 0,02991 |

*Jednadžbe uticajnih linija*

a) Uticajna linija momenta savijanje $M_m$ određena je u prvom, trećem, četvrtom i petom polju po obr. (18) jednadžbom

$$m_m = -(\mu\,\varphi_r + \mu'\varphi_s)\cdot l_{r-s},$$

a u drugom polju, po obr. (20), jednadžbama

$$\text{za } \xi \leqq \xi_m:\ m_m = [\xi\xi'_m + \mu\,(\xi'_m - \varphi_2) - \mu'\,(\xi_m + \varphi_3)]\ l_{2-3},$$

$$\text{za } \xi \geqq \xi_m:\ m_m = [\xi'\xi_m + \mu\,(\xi'_m - \varphi_2) - \mu'\,(\xi_m + \varphi_3)]\ l_{2-3}.$$

S vrijednostima komponenti stanja pomaka sistema iz prvog reda tablice IV daju gornji obrasci jednadžbe pojedinih ogranaka uticajne linije $M_m$ u konačnom obliku:

prvo polje: $m_m = 0{,}1806\,\mu - 0{,}73780\,\mu'$;

drugo polje:

za $\xi \leqq 0{,}4$: $m_m = 4{,}80\,\xi + 3{,}6195\,\mu - 2{,}6126\,\mu'$;

za $\xi \geqq 0{,}6$: $m_m = 3{,}20\,\xi' + 3{,}6195\,\mu - 2{,}6126\,\mu'$;

treće polje: $m_m = 0{,}5874\,\mu - 0{,}0998\,\mu'$;

četvrto polje: $m_m = -0{,}0624\,\mu + 0{,}0103\,\mu'$.

b) Uticajna linija transversalne sile $T_m$ određena je u drugom polju po obrascu (21) jednadžbama

$$\text{za } \xi \leqq \xi_m:\ t_m = -[\xi + \mu\,(1 + \varphi_2\,l_{2-3}) + \mu'\,(1 + \varphi_3 l_{2-3})],$$

$$\text{za } \xi' \leqq \xi'_m:\ t_m = +[\xi' - \mu\,(1 + \varphi_2\,l_{2-3}) - \mu'\,(1 + \varphi_3 l_{2-3})],$$

a u ostalim poljima jednadžbom s istom desnom stranom kao pod a).

S vrijednostima deformacionih veličina iz drugog reda tablice IV dobivamo prema tome jednadžbe pojedinih ogranaka te uticajne linije

prvo polje: $t_m = -0{,}0383\,\mu + 0{,}2604\,\mu'$;

drugo polje:

za $\xi \leqq 0{,}4$: $t_m = -\xi - 0{,}5834\,\mu - 0{,}4224\,\mu'$;

za $\xi' \leqq 0{,}6$: $t_m = \xi' - 0{,}5834\,\mu - 0{,}4224\,\mu'$;

treće polje: $t_m = 0{,}5776\,\mu - 0{,}0914\,\mu'$;

četvrto polje: $t_m = -0{,}0686\,\mu - 0{,}0387\,\mu'$.

c) Uticajna linija za normalnu silu $N_m$ određena je za sva polja obrascem (18), koji daje, s vrijednostima deformacionih veličina iz trećeg reda tablice IV, jednadžbe pojedinih njenih ogranaka:

prvo polje: $n_m = -0{,}5682\,\mu + 0{,}0507\,\mu'$,

drugo polje: $n_m = -0{,}0810\,\mu + 0{,}2874\,\mu'$,

treće polje: $n_m = 0{,}2874\,\mu - 0{,}0240\,\mu'$,

četvrto polje: $n_m = -0{,}0150\,\mu + 0{,}4657\,\mu'$.

d) uticajna linija momenta savijanja $M_{27}$ određena je u svim poljima obrascem (18), pa se stoga jednadžbe pojedinih njezinih ogranaka dobivaju na isti način kao jednadžbe ogranaka uticajne linije $N_m$. S vrijednostima komponenti stanja pomaka iz četvrtog reda tablice IV imamo prema tome ove jednadžbe pojedinih ogranaka uticajne linije $M_{27}$:

prvo polje: $m_{27} = 1{,}9230\,\mu - 3{,}5840\,\mu'$,

drugo polje: $m_{27} = -5{,}7344\,\mu + 1{,}8472\,\mu'$,

treće polje: $m_{27} = 1{,}8472\,\mu - 0{,}2544\,\mu'$,

četvrto polje: $m_{27} = -0{,}1590\,\mu + 1{,}1625\,\mu'$.

e) Uticajna linija vertikalne komponente $A_7$ ležišne reakcije u čvoru 7 definirana je u prva dva polja po obrascima (12) i (18) jednadžbom

$$a_6 = -(\mu\,\varphi_r + \mu'\varphi_s)\cdot l_{r-s} + v_r\,\xi' + v_s\xi + (\mu + \mu')\,\psi_{r-s}\,l_{r-s},$$

a u ostalim poljima istim obrascem (18) kao i uticajne linije $N_m$ i $M_{26}$.

Sa vrijednostima komponenti stanja pomaka $\varphi_i$ iz posljednjeg reda tablice IV i vrijednostima

$$\psi_{1-2} = \psi^{(0)}_{1-2} = 0{,}200,\quad v_1 = \psi_{1-2}\cdot l_{1-2} = 0{,}200\cdot 5{,}0 = 1{,}0,$$

$$\psi_{2-3} = \psi^{(0)}_{2-3} = -0{,}125,\quad v_1 = -\psi_{2-3}\cdot l_{2-3} = 0{,}125\cdot 8{,}0 = 1{,}0$$

dobivamo iz navedenih obrazaca ove jednadžbe ogranaka uticajne linije:

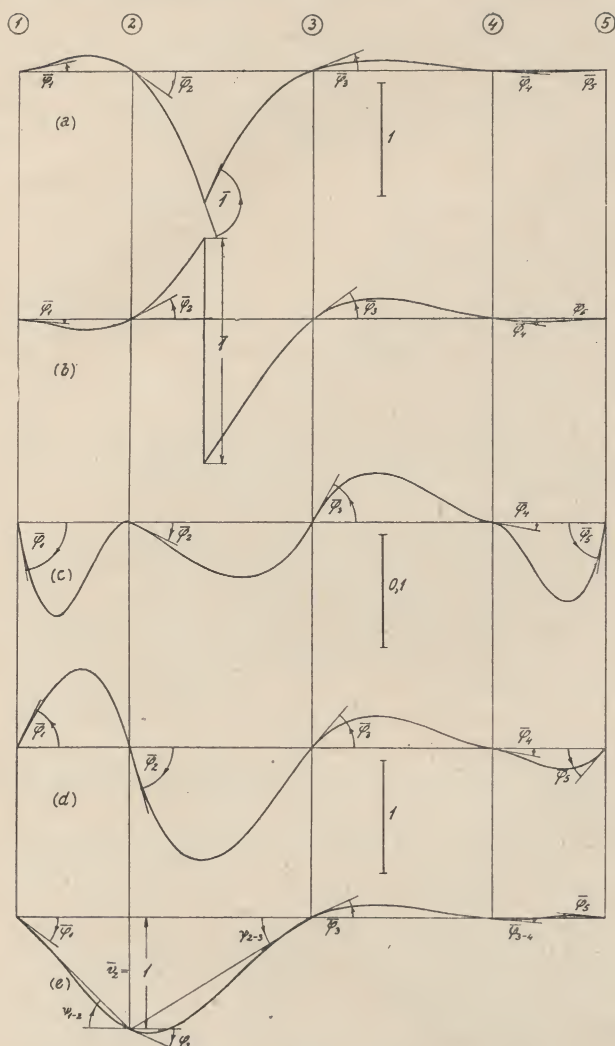
prvo polje: $a_6 = 0{,}3010\,\mu + 0{,}6049\,\mu' + \xi$,

drugo polje: $a_6 = -1{,}6321\,\mu - 0{,}3209\,\mu' + \xi'$,

treće polje: $a_6 = 0{,}6792\,\mu - 0{,}1230\,\mu'$,

četvrto polje $a_6 = 0{,}0769\,\mu - 0{,}1075\,\mu'$.

Uticajne linije, izračunate po naprijed izvedenim jednadžbama, prikazane su na sl. 16 a—e. Na



Sl. 16a - e

a) Uticajna linija momenta savijanja $M_m$
b) Uticajna linija transversalne sile $T_m$
c) Uticajna linija normalne sile $N_m$
d) Uticajna linija momenta savijanja $M_{27}$
e) Uticajna linija vertikalne ležišne reakcije $A_7$

njima su označeni kutevi zaokretanja čvorova i štapova, koji mogu dobro poslužiti za kontrolu računa. Ti kutevi mjere se, prirodno, u smislu grafičke statike, t. j. kao odsiečci što ih apscisna os i tangenta na uticajnu liniju u čvornoj tačci čine na vertikali, položenoj u udaljenosti 1 od čvorne tačke. Međusobni kut zaokreta dvojnog presjeka u nul-polju momenta savijanja mjeri se kao odsječak između obiju tangenti u dvojnom presjeku. Kako su ordinate uticajnih linija nanašane s faktorom povećanja $\zeta$, pojavljuju se i kutevi zaokreta čvorova i štapova povećani s tim faktorom; oni su stoga označeni crticom nad slovom.

Primjer 2. Okvirni sistem nosača na sl. 17a, sa štapovima konstantnog momenta tromosti presjeka $J_c$*. Treba odrediti uticajne linije za unutarnje sile u presjeku $m$ na trećini drugoga raspona grede, zatim za momenat savijanja u ležišnom presjeku 5 lijevog kosog stupa i za vertikalnu ležišnu reakciju $A_5$. Kao nezavisnu komponentu stanja pomaka sistema odabrat ćemo kut zaokreta kosog stupa 2—5: $\vartheta_I = \psi_{2-5}$.

Jedinično zaokretanje stupa 2—5 proizvodi prema slici 17b ova zaokretanja ostalih štapova u kinematskom lancu sistema:

$$\psi_{3-6,I} = \frac{1 \cdot l_{2-5} \cdot \sin\alpha}{\sin\beta} \cdot \frac{1}{l_{3-6}} = \frac{5,0}{5,0} = 1,$$

$$\psi_{1-2,I} = \frac{1 \cdot l_{2-5} \cdot \cos\alpha}{l_{1-2}} = \frac{2,0}{6,0} = \frac{1}{3},$$

$$\psi_{2-3,I} = -\frac{1 \cdot l_{2-5} \cdot \cos\alpha + l_{3-6}\cos\beta}{l_{2-3}}$$

$$= -\frac{2,0 + 3,0}{10,0} = -\frac{1}{2},$$

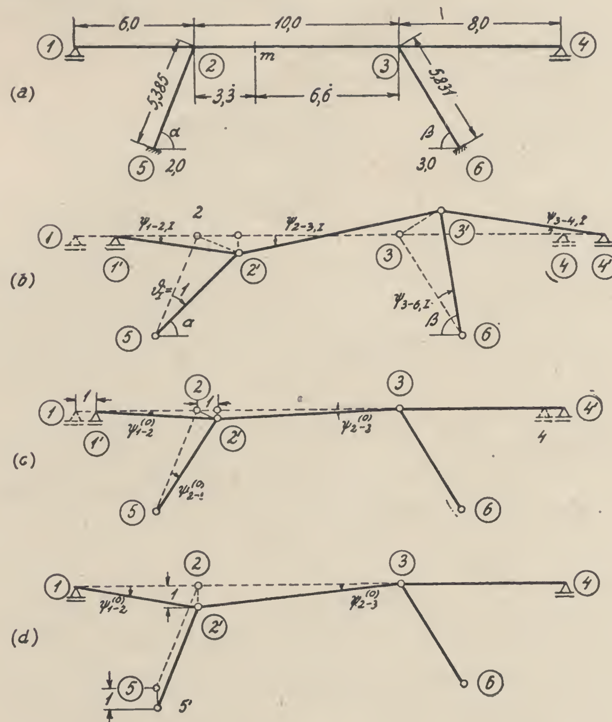
$$\psi_{3-4,I} = \frac{1 \cdot l_{3-6} \cdot \cos\beta}{l_{3-4}} = \frac{3,0}{8,0} = \frac{3}{8}.$$

*Koeficijenti nepoznanica* u uslovnim jednadžbama imaju prema obrascima (42), sa $EI_c = 1$, vrijednosti:

$$L_{22} = \frac{4}{5,385} + \frac{3}{6,0} + \frac{4}{10,0} = 1,6428,$$

$$L_{23} = \frac{4}{5,831} + \frac{3}{8,0} + \frac{4}{10,0} = 1,4610,$$

$$L_{23} = L_{32} = 2 \cdot \frac{1}{10,0} = 0,200,$$



Sl. 17a - d

* Primjer je, zbog uspoređenja postupaka, uzet iz rasprave prof. Klöppel-a, navedene u uvodu ovog rada [5].

$$L_{2I} = L_{I2} = -6 \cdot \frac{1}{5{,}385} \cdot 1 - 6 \cdot \frac{1}{10{,}0} \cdot \left(-\frac{1}{2}\right) - 3 \cdot \frac{1}{6{,}0} \cdot \frac{1}{3} = -0{,}9809,$$

$$L_{3I} = L_{I3} = -6 \cdot \frac{1}{5{,}831} \cdot 1 - 6 \cdot \frac{1}{10{,}0} \cdot \left(-\frac{1}{2}\right) - 3 \cdot \frac{1}{8{,}0} \cdot \frac{3}{8} = -0{,}8696,$$

$$L_{I\,I} = 12\left[\frac{1}{5{,}385} \cdot 1^2 + \frac{1}{10{,}0} \cdot \left(-\frac{1}{2}\right)^2 + \frac{1}{5{,}831} \cdot 1^2\right] + 3\left[\frac{1}{6{,}0} \cdot \left(\frac{1}{3}\right)^2 + \frac{1}{8{,}0} \cdot \left(\frac{3}{8}\right)^2\right] = 4{,}6947.$$

Ti koeficijenti daju matricu uslovnih jednadžbi prikazanu u tablici V.

Tablica V. Sistem uslovnih jednadžbi

| | $\varphi_2$ | $\varphi_3$ | $\vartheta_I$ | |
|---|---|---|---|---|
| (2) | 1,6428 | 0,2000 | —0,9809 | $L_2$ |
| (3) | 0,2000 | 1,4610 | —0,8696 | $L_3$ |
| (I) | —0,9809 | —0,8696 | 4,6947 | $L_I$ |

*Vrijednosti poznatih članova* u uslovnim jednadžbama dobivamo po obrascima (43) iz ležišnih momenata štapova u geometrijski određenom sistemu nosača, proizvedenih jediničnom deformacijom u nul-polju statičke veličine, za koju se traži uticajna linija.

a) Uticajna linija za momenat savijanja $M_m$ u presjeku $m$ ($x_m = 10{,}0/3 = 3{,}333$ m, $x_m' = 2 \cdot 10{,}0/3 = 6{,}667$ m).

Po obrascu (3) imamo

$$\mathfrak{M}_{23} = -\frac{2}{10{,}0^2}(2 \cdot 6{,}667 - 3{,}333) = -0{,}200,$$

$$\mathfrak{M}_{32} = +\frac{2}{10{,}0^2}(2 \cdot 3{,}333 - 6{,}667) = 0.$$

Prema tome je

$$L_2 = -\mathfrak{M}_{23} = +0{,}200, \quad L_3 = -\mathfrak{M}_{32} = 0,$$

$$L_I = (\mathfrak{M}_{23} + \mathfrak{M}_{32}) \cdot \psi_{2-3,\,I} = -0{,}200 \cdot -0{,}500 = +0{,}100.$$

b) Uticajna linija za transversalnu silu $T_m$ u presjeku $m$.

Po obrascu (5) imamo ležišne momente štapa s nul-poljem transversalne sile

$$\mathfrak{M}_{23} = \mathfrak{M}_{32} = +\frac{6}{10{,}0^2} = +0{,}060,$$

$$L_2 = -\mathfrak{M}_{32} = -0{,}060, \quad L_3 = -\mathfrak{M}_{32} = -0{,}060,$$

i prema tome od nule različite apsolutne članove

$$L_I = (\mathfrak{M}_{23} + \mathfrak{M}_{32}) \cdot \psi_{2-3,\,I} = 2 \cdot 0{,}060 \cdot -0{,}500 = -0{,}060.$$

c) Uticajna linija normalne sile $N_m = N_{2-3}$ u štapu 2—3.

Jedinično skraćenje štapa 2—3 proizvodi prema sl. 17c zaokretanja štapova 1—2, 2—3 i 2—5 za iznose

$$\psi^{(0)}_{1-2} = +\frac{1 \cdot \cot g\,\alpha}{l_{1-2}} = +\frac{2{,}0}{5{,}0} \cdot \frac{1}{6{,}0} = +\frac{1}{15},$$

$$\psi^{(0)}_{2-3} = -\frac{1 \cdot \cot g\,\alpha}{l_{2-3}} = -\frac{2{,}0}{5{,}0} \cdot \frac{1}{10{,}0} = -\frac{1}{25},$$

$$\psi^{(0)}_{2-5} = +\frac{1 \cdot \operatorname{cosec}\alpha}{l_{2-5}} = +\frac{5{,}385}{5{,}0} \cdot \frac{1}{5{,}385} = +\frac{1}{5}.$$

Prema tome nastupaju u geometrijski određenom osnovnom sistemu zbog jediničnog skraćenja štapa 2—3 ovi ležišni momenti štapova:

$$\mathfrak{M}_{21} = -3 \cdot \frac{1}{6{,}0} \cdot \frac{1}{15} = -0{,}0333,$$

$$\mathfrak{M}_{23} = \mathfrak{M}_{32} = -6 \cdot \frac{1}{10.0} \cdot \left(-\frac{1}{25}\right) = +0{,}0240,$$

$$\mathfrak{M}_{25} = \mathfrak{M}_{52} = -6 \cdot \frac{1}{5{,}385} \cdot \frac{1}{5} = -0{,}22284.$$

Oni daju po obrascima (43) apsolutne članove uslovnih jednadžbi.

$$L_2 = -(\mathfrak{M}_{21} + \mathfrak{M}_{23}) = -(-0{,}0333 + 0{,}0240) = -0{,}0093,$$

$$L_3 = -\mathfrak{M}_{32} = +0{,}0240,$$

$$L_I = (\mathfrak{M}_{25} + \mathfrak{M}_{52})\,\psi_{2-5,\,I} = 2 \cdot (-0{,}22284) \cdot 1 = -0{,}44568.$$

d) Uticajna linija momenata savijanja $M_5$. Deformacija $\varphi_5 = -1$ proizvodi po obrascu (3) u štapu 2—5 geometrijski određenog osnovnog sistema ležišne momente

$$\mathfrak{M}_{52} = -\frac{2}{5{,}385^2} \cdot 2 \cdot 5{,}385 = -0{,}7428,$$

$$\mathfrak{M}_{25} = +\frac{2}{5{,}385^2} \cdot -5{,}385 = -0{,}3714,$$

koji daju od nule različite apsolutne članove uslovnih jednadžbi

$$L_2 = -\mathfrak{M}_{25} = +0{,}3714,$$

$$L_I = (\mathfrak{M}_{52} + \mathfrak{M}_{52})\,\psi_{2-5,\,I} = (-0{,}3714 - 0{,}7428) \cdot 1 = -1{,}1142.$$

e) Uticajna linija vertikalne komponente $A_5$ ležišne reakcije u čvoru 5.

Pomak 1 prema dolje u ležištu štapa 2—5 proizvodi prema sl. 17d u kinematskom lancu sistema kuteve zaokretanja štapova

$$\psi^{(0)}_{1-2} = +\frac{1}{l_{1-2}} = +\frac{1}{6{,}0},$$

$$\psi^{(0)}_{2-3} = -\frac{1}{l_{2-3}} = -\frac{1}{10{,}0},$$

i prema tome ležišne momente u štapovima geometrijski određenog sistema nosača

$$\mathfrak{M}_{21} = -3 \cdot \frac{1}{6,0} \cdot \frac{1}{6} = -0,0833,$$

$$\mathfrak{M}_{23} = \mathfrak{M}_{32} = -6 \cdot \frac{1}{10,0} \cdot -\frac{1}{10,0} = +\,0,0600.$$

Time se iz obrazaca (43) dobivaju vrijednosti apsolutnih članova

$$L_2 = -(\mathfrak{M}_{21} + \mathfrak{M}_{28}) = -(-0,0833 + 0,0600) = +\,0,0233,$$

$$L_3 = -\mathfrak{M}_{32} = -0,0600,$$

$$L_I = \mathfrak{M}_{21} \cdot \psi_{1-2,\,I} + (\mathfrak{M}_{23} + \mathfrak{M}_{32})\,\psi_{2-3,\,I} = -0,0833 \cdot \frac{1}{3} + 2 \cdot 0,0600 \cdot -\frac{1}{2} = -0,08778.$$

Sve izračunate vrijednosti apsolutnih članova unesene su u tablicu VI. Suma produkata, dobivenih množenjem kolone apsolutnih članova u toj tablici za jedan od slučajeva a) do e) s kolonom općeg rješenja uslovnih jednadžbi u tablici VII, daje po obrascu (44) veličinu komponente stanja stanja pomaka $\nu_r$ za taj slučaj.

T a b l i c a VI. Apsolutni članovi uslovnih jednadžbi za izračunavanje pojedinih uticajnih linija

| Zadatak | Uticajna linija | $L_2$ | $L_3$ | $L_I$ |
|---|---|---|---|---|
| a) | $M_m$ | +0,200 | — | +0,100 |
| b) | $T_m$ | —0,060 | —0,060 | —0,060 |
| c) | $N_m$ | +0,00933 | —0,02400 | —0,48079 |
| d) | $M_{52}$ | +0,37140 | — | —1,11142 |
| e) | $A_5$ | +0,02333 | —0,060 | —0,03778 |

T a b l i c a VII. Opće rješenje uslovnih jednadžbi

| | $L_2$ | $L_3$ | $L_I$ |
|---|---|---|---|
| $\varphi_2$ | 0,69561 | —0,00980 | +0,14352 |
| $\varphi_3$ | —0,00980 | +0,76941 | +0,14047 |
| $\vartheta_I$ | +0,14352 | +0,14047 | +0,26901 |

Rezultati su prikazani pregledno u tablici VIII.

T a b l i c a VIII. Vrijednosti komponenti stanja pomaka za izračunavanje pojedinih uticajnih linija

| Uticajna linija | $\varphi_2$ | $\varphi_3$ | $\vartheta_I$ |
|---|---|---|---|
| a) $M_m$ | +0,15347 | +0,01209 | +0,05561 |
| b) $T_m$ | —0,04976 | —0,05400 | —0,03118 |
| c) $N_m$ | —0,06283 | —0,08612 | —0,13135 |
| d) $M_{52}$ | +0,09844 | —0,01929 | —0,24653 |
| e) $A_5$ | +0,00423 | —0,05872 | —0,02869 |

*Jednadžbe uticajnih linija.*

a) Uticajna linija momenta savijanja $M_m$ definirana je za prvo polje po (23 i (24) jednadžbom

$$m_m = -\mu^{(a)\prime}\,\varphi_2 + v_2\,\xi' + \mu^{(a)\prime}\,\psi_{1-2}\,l_{1-2}{}^{*},$$

za drugo polje, po (8), (21) i (12), jednadžbama

za $\xi \leqq \xi_m$:

$$m_m = [\xi\xi'_m + \mu\,(\xi'_m - \varphi_2) + \mu'\,(\xi_m + \varphi_3)]\,l_{2-3} + v_2\,\xi' + v_3\,\xi + (\mu + \mu')\,\psi_{2-3}\,l_{2-3},$$

za $\xi' \leqq \xi'_m$:

$$m_m = [\xi'\xi_m + \mu\,(\xi'_m - \varphi_2) + \mu'\,(\xi_m + \varphi_3)]\,l_{2-3} + v_2\,\xi' + v_3\,\xi + (\mu + \mu')\,\psi_{2-3}\,l_{2-3},$$

za treće polje, po obr. (23) i (24) jednadžbom

$$m_m = -\mu^{(a)}\,\varphi_3 + v_3\xi + \mu^{(a)}\,\psi_{3-4}\,l_{3-4}.$$

S veličinama komponenti stanja pomaka iz prvog reda tablice VIII, vrijednostima kuteva zaokreta štapova

$$\psi_{1-2} = \psi_{1-2,\,I} \cdot \vartheta_I = \frac{1}{3} \cdot 0,05561 = +\,0,01854,$$

$$\psi_{2-3} = \psi_{2-3,\,I} \cdot \vartheta_I = -\frac{1}{2} \cdot 0,05561 = -0,02781,$$

$$\psi_{2-4} = \psi_{3-4,\,I} \cdot \vartheta_I = \frac{3}{8} \cdot 0,05561 = +\,0,02085$$

i vrijednostima vertikalnih pomaka čvorova

$$v_2 = \psi_{1-2}\,l_{1-2} = 0,01854 \cdot 6,0 = 0,1112,$$

$$v_3 = v_2 + \psi_{2-3}\,l_{2-3} = 0,1112 - 0,02781 \cdot 10,0 = -\,0,1669,$$

gornje jednadžbe daju za

prvo polje: $m_m = -\,0,08096\,\mu^{(a)\prime} + 0,1112\,\xi;$

drugo polje:

za $\xi \leqq \xi_m$: $m_m = 6,6667\,\xi + 0,1112\,\xi' + 4,8539\,\mu - 3,1713\,\mu';$

za $\xi' \leqq \xi'_m$: $m_m = 3,3333\,\xi' + 0,1112\,\xi + 4,8539\,\mu - 3,1713\,\mu';$

treće polje: $m_m = -\,0,0701\,\mu^{(a)} + 0,1669\,\xi'.$

b) Uticajna linija transversalne sile $T_m$** definirana je za prvo i treće polje, po obrascima (28) i (24), jednadžbom s istom desnom stranom kao i uticajna linija $M_m$ za ta polja, a za drugo polje, po obrascima (21) i (12), jednadžbama

za $\xi \leqq \xi_m$:

$$t_m = -\,[\xi + \mu\,(1 + \varphi_2 l_{2-3}) + \mu'\,(1 + \varphi_3 l_{2-3})] + v_2\xi' + v_3\xi + (\mu + \mu')\,\psi_{2-3}\,l_{2-3},$$

za $\xi' \leqq \xi'_m$:

$$t_m = +\,[\xi' - \mu\,(1 + \varphi_2\,l_{2-3}) - \mu'\,(1 + \varphi_2\,l_{2-3})] + v_2\,\xi' + v_3\,\xi + (\mu + \mu')\,\psi_{2-3}\,l_{2-3}.$$

* Linija $\mu^{(a)\prime}$ je uticajna linija ležišnog momenta jediničnog štapa $a - i$ sa zglobom na lijevoj strani. Ona je polarno simetrična liniji $\mu^{(a)}$, čije su ordinate dane u tablici 2. (Vrijednost $\mu^{(a)\prime}$ za apscisu $\xi$ jednaka je negativnoj vrijednosti $\mu^{(a)}$ za apscisu $\xi'$).

** U raspravi prof. K l ö p p e l-a [5] pogrešno je postavljena jednadžba uticajne linije $t_m$. Ona je izvedena deriviranjem jednadžbe uticajne linije $m_m$ po varijabli $x$ (dakle, po obrascu $t_m = dm_m/dx$), dok stvarno treba deriviranje vršiti po varijabli $x_m$ (t. j. $t_m = dm_m/dx_m$).

S veličinama komponenti stanja pomaka iz drugoga reda tablice VIII, vrijednostima kuteva zaokreta štapova

$$\psi_{1-2} = \psi_{1-2}^{(0)} \cdot \vartheta_I = \frac{1}{3} \cdot (-0{,}03118) = -0{,}01039,$$

$$\psi_{2-3} = \psi_{2-3}^{(0)} \cdot \vartheta_I = -\frac{1}{2} \cdot (-0{,}03118) = +0{,}01559,$$

$$\psi_{3-4} = \psi_{3-4}^{(0)} \cdot \vartheta_I = \frac{3}{8} \cdot (-0{,}03118) = -0{,}01169$$

i vrijednostima vertikalnih pomaka čvorova

$$v_2 = \psi_{1-2} \cdot l_{1-2} = -0{,}01039 \cdot 6{,}0 = -0{,}06234,$$

$$v_3 = v_2 + \psi_{2-3} \cdot l_{2-3} = -0{,}06234 + $$
$$+ 0{,}01554 \cdot 10{,}0 = +0{,}9356$$

gornje jednadžbe daju konačne obrasce za izračunavanje uticajne linije $T_m$, i to za

prvo polje: $t_m = 0{,}2362 \cdot \mu^{(a)\prime} - 0{,}06236\,\xi;$

drugo polje:

za $\xi \leqq \xi_m$: $t_m = -0{,}9065\,\xi - 0{,}0624\,\xi' - 0{,}03465\,\mu - 0{,}3041\,\mu',$

za $\xi' \leqq \xi'_m$: $t_m = -0{,}9376\,\xi' + 0{,}0935\,\xi - 0{,}3465\,\mu - 0{,}3041\,\mu';$

treće polje: $t_m = 0{,}3385\,\mu^{(a)} + 0{,}09354\,\xi'.$

c) Uticajna linija za normalnu silu $N_m$ u štapu 2 — 3 definirana je za krajnja polja jednadžbama istog općeg oblika kao i uticajna linija momenta savjanja $M_m$ ili transversalne sile $T_m$, a za srednje polje jednadžbom

$$n_m = -(\mu\varphi_2 + \mu'\varphi_3)\, l_{2-3} + v_2\,\xi' + v_3\,\xi + $$
$$+ (\mu + \mu')\,\psi_{2-3}\, l_{2-3}$$

S vrijednostima komponenti stanja pomaka iz trećeg reda tablice VIII, vrijednostima kuteva zaokreta štapova

$$\psi_{1-2} = \psi_{1-2}^{(0)} + \psi_{1-2,\,I} \cdot \vartheta_I = \frac{1}{15} + \frac{1}{3} \cdot$$
$$\cdot (-0{,}13135) = +0{,}02289,$$

$$\psi_{2-3} = \psi_{2-3}^{(0)} + \psi_{2-3,\,I} \cdot \vartheta_I = -\frac{1}{25} \cdot \left(-\frac{1}{2}\right) \cdot$$
$$\cdot (-0{,}13135) = +0{,}02565,$$

$$\psi_{3-4} = \psi_{3-4}^{(0)} + \psi_{3-4,\,I} \cdot \vartheta_I = 0 + \frac{3}{8} \cdot (-0{,}13135)$$
$$= -0{,}04924$$

i vrijednostima vertikalnih pomaka čvorova

$$v_2 = \xi_{1-2} \cdot l_{1-2} = +0{,}02289 \cdot 6{,}0 = 0{,}1373,$$

$$v_3 = v_2 + \psi_{2-3} \cdot l_{2-3} = +0{,}13734 + $$
$$+ 0{,}02565 \cdot 10{,}0 = 0{,}3939$$

dobivamo iz gornjih jednadžbi konačne izraze za izračunavanje uticajne linije:

prvo polje:

$$n_m = 0{,}5143\,\mu^{(a)\prime} + 0{,}1373\,\xi,$$

drugo polje:

$$n_m = 0{,}8848\,\mu + 1{,}1177\,\mu' + 0{,}1373\,\xi' + 0{,}3939\,\xi,$$

treće polje:

$$n_m = 0{,}1087\,\mu^{(a)} + 0{,}3939\,\xi'.$$

d) Uticajna linija za momenat savijanja $M_{52}$ definirana je za sva tri polja izrazima istog oblika kao uticajna linija $N_m$. Ako se u te izraze uvrste vrijednosti stanja pomaka iz četvrtog reda tablice VIII, zatim vrijednosti kuteva zaokreta štapova

$$\psi_{1-2} = \psi_{1-2,I} \cdot \vartheta_I = \frac{1}{3} \cdot -0{,}24653 = -0{,}08218,$$

$$\psi_{2-3} = \psi_{2-3,I} \cdot \vartheta_I = \frac{1}{2} \cdot -0{,}24653 = +0{,}12327,$$

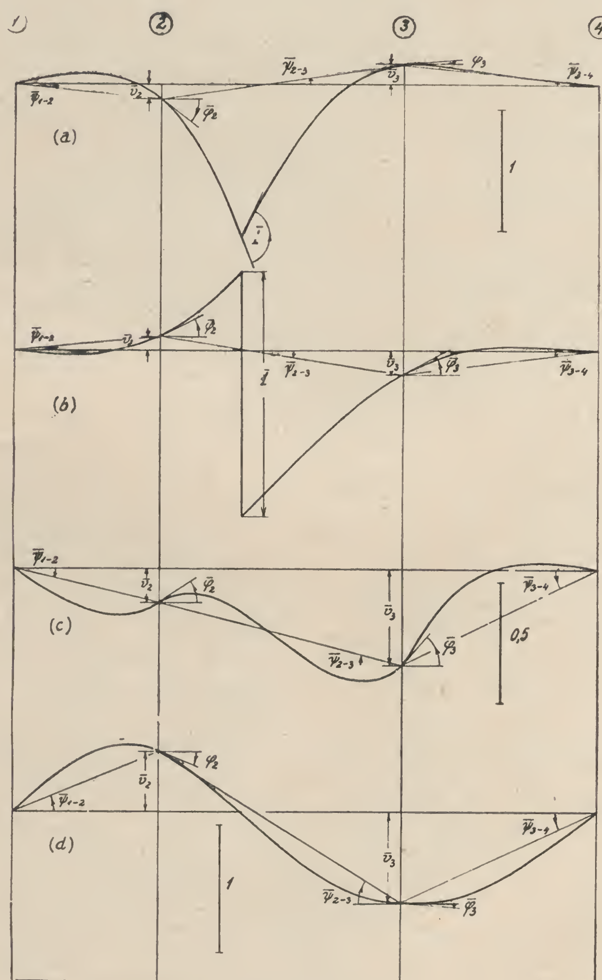
$$\psi_{3-4} = \psi_{3-4,I} \cdot \vartheta_I = \frac{3}{8} \cdot -0{,}24653 = -0{,}09245$$

i vrijednosti vertikalnih pomaka čvorova

$$v_2 = \psi_{1-2} \cdot l_{1-2} = -0{,}08218 \cdot 6{,}0 = -0{,}4931,$$

$$v_3 = v_2 + \psi_{2-3}\, l_{2-3} = -0{,}49308 + $$
$$+ 0{,}12327 \cdot 10{,}0 = +0{,}7396$$

dobivaju se jednadžbe ogranaka uticajne linije za




Sl. 18a - d

a) Uticajna linija momenta savijanja $M_m$
b) Uticajna linija transversalne sile $T_m$
c) Uticajna linija normalne sile $N_m$
d) Uticajna linija momenta savijanja $M_{25}$

(Uticajna linija $A_5$ ima sličan oblik kao uticajna linija $A_2$ grede s popustljivim ležištima 2 i 3. Njezine ordinate u presjecima 2 i 3 su $v_2$ i $v_3$.)

prvo polje:

$m_{52} = -1{,}0837\,\mu^{(a)\prime} - 0{,}4931\,\xi,$

drugo polje:

$m_{52} = 0{,}2483\,\mu + 1{,}4266\,\mu' - 0{,}4931\,\xi' + 0{,}7396\,\xi,$

treće polje:

$m_{52} = -0{,}5853\,\mu^{(a)} + 0{,}7396\,\xi.$

e) Uticajna linija vertikalne komponente ležišne reakcije $A_5$ u čvoru 5 određena je također za sva tri polja izrazima općeg oblika kao i uticajna linija $N_m$ i $M_{52}$ (vidi tačku d).

Prema tome dobivamo s vrijednostima kuteva zaokreta čvorova i nezavisnog kuta zaokreta štapa iz petog reda tablice VIII, zatim s vrijednostima kuteva zaokreta štapova

$$\psi_{1-2} = \psi_{1-2}^{(0)} + \frac{1}{3}\,\vartheta_I = +\,0{,}16667 + \frac{1}{3}\cdot(-\,0{,}02869) = +\,0{,}15710,$$

$$\psi_{2-3} = \psi_{2-3}^{(0)} - \frac{1}{2}\,\vartheta_I = -\,0{,}10 - \frac{1}{2}\cdot(-\,0{,}02869) = -\,0{,}08565,$$

$$\psi_{3-4} = \psi_{3-4}^{(0)} + \frac{3}{8}\,\vartheta_I = +\,\frac{3}{8}\cdot(-\,0{,}02869) = -\,0{,}01076,$$

i vrijednostima vertikalnih pomaka čvorova

$$v_2 = \psi_{1-2}\cdot l_{1-2} = 0{,}15710\cdot 6{,}0 = +\,0{,}9426,$$

$$v_3 = v_2 + \psi_{2-}\,l_{2-3} = 0{,}9426 - 0{,}08565\cdot 10{,}0 = +\,0{,}0861$$

jednadžbe pojedinih ogranaka uticajne linije

prvo polje:

$a_5 = 0{,}8988\,\mu^{(a)\prime} + 0{,}9426\,\xi',$

drugo polje:

$a_5 = -\,0{,}8988\,\mu - 0{,}2693\,\mu' + 0{,}9426\,\xi + 0{,}0861\,\xi'$

treće polje:

$a_5 = -\,0{,}2736\,\mu^{(a)} + 0{,}0861\,\xi.$

Uticajne linije, izračunate po naprijed izvedenim obrascima, prikazane su na sl. 18a - d.

Literatura

[1] Fisher, Calcul des cadres par la méthode des déformations. Paris, 1950 (Dunod).

[2] Guldan, Rahmentragwerke und Durchlaufträger. 2. izd., 1943. (Springer).

[3] Kušević, Das Nullfeldverfahren zur allgemeinen Ermittlung der Einflusslinien von Balken und Rahmentragwerken, »Der Stahlbau« 1939, sv. 16 i 17.

[3a] Kušević, Postupak nul-polja za iznalaženje uticajnih linija grednih i okvirnih sistema nosača. »Tehnički List« 1939, br. 13/14, 19/20 i 21/22. (Proširen prijevod rasprave pod [3]).

[4] Mann, Theorie der Rahmenwerke auf neuer Grundlage. Berlin, 1927. (Springer).

[5] Klöppel, Unmittelbare Ermittlung von Einflusslinien mit dem Formänderungsverfahren. »Der Stahlbau« 1952, sv. 8.

# O DJELOMIČNO OMEĐENIM TEMELJIMA ZGRADA

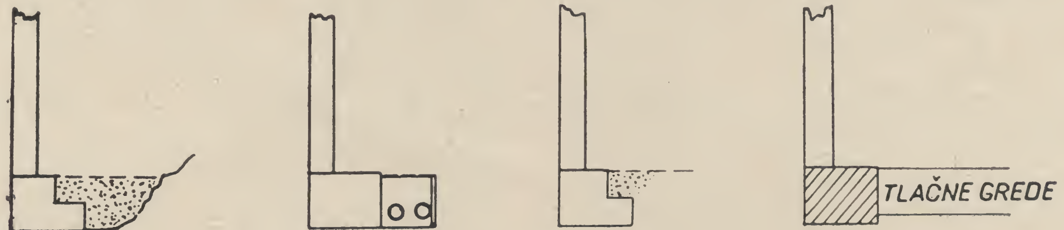
Ing. **Stanko Bakrač**, Zagreb

(Nastavak iz broja 11.)

Znam, da će mnogi napomenuti, da je trenje između temelja i tla, u manjoj ili većoj mjeri, uvjet za stabilitet mnogih građevina, a gdjegdje čak i »conditio sine qua non« (na pr. slobodno stojeći potporni zid). To je, naravno, istina, pa u takvu slučaju ne možemo drugo nego da računamo s trenjem i da poduzimamo mjere, da to trenje ne bude manje od vrijednosti, s kojom smo računali. Kod temelja na međi ima međutim i drukčijih rješenja, kod kojih eventualna promjena koeficijenta trenja ne utječe na stabilnost. Zbog toga, eto, i smatram ovaj način manje pouzdanim u usporedbi s drugim načinima.

Netko će zacijelo zapitati, zašto onda kod zgrada s temeljima izvedenim na taj način — unatoč tome, što se mogu pojaviti različite nepovoljne okolnosti, kao i unatoč tome, što mnogi od tih temelja nisu čak ni propisno dimenzionirani — ne dolazi do jačih popuštanja temelja i vidljivih posljedica na zgradama, to više, što se zna, da su takvi jednostrano prošireni temelji izvedeni često i tamo, gdje to nije bilo potrebno i gdje su se trebali, a i mogli, izvesti obostrano prošireni temelji. Odgovor na to pitanje zapravo je protivurječan, jer se kao razlog navode one iste okolnosti, zbog kojih su jednostrano prošireni (a inače centrično opterećeni) temelji nazvani nepouzdanima. Ovaj put su međutim te okolnosti povoljne.

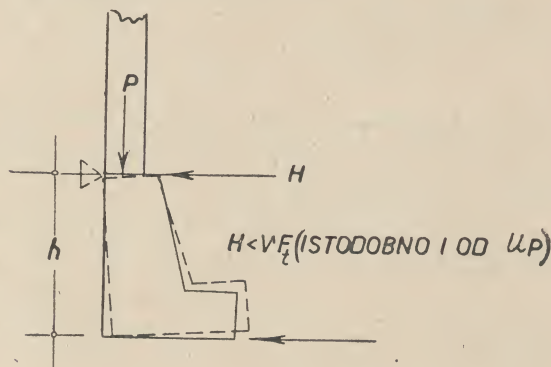
U nekim je slučajevima na pr. stanje u temelju na međi poboljšano zbog aktivnog tlaka zemlje s vanjske strane temelja. (Znamo, da pravilno dimen-




Slika 22

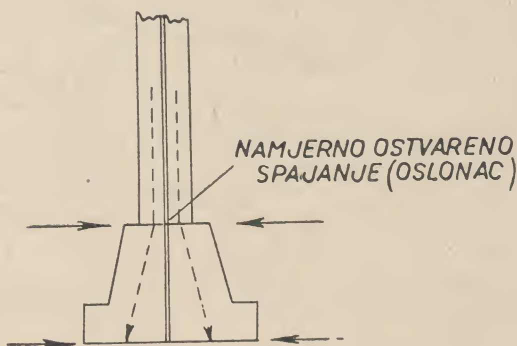
zioniranje u ovakvu slučaju opterećenja dovodi i onako do jednostrano proširena temelja, pa je prema tome temelj na međi u ovakvu slučaju »normalni temelj«).

U općenitom slučaju, kad ne postoji takva povoljna okolnost, ekscentrično opterećeni temelj na međi nastojat će da se zaokrene i da se pomakne u desno (sl. 23). Tome se, po pravilu, odupire trenje u podnici temelja i eventualni pasivni tlak zemlje s unutarnje strane temelja.




Slika 23

U mnogim pak slučajevima postoji već na međi susjedni temelj, pa je jače zaokretanje našega temelja time spriječeno. Tu naime dolazi u gornjem dijelu temelja do nalijeganja temelja na temelj i do bočnoga tlaka na susjedni temelj (koji je po svoj prilici također jednostrano proširen), što na pr., sasvim sigurno, djeluje povoljno na taj susjedni temelj. Recipročno djelovanje susjednoga temelja odrazit će se pak povoljno na naš temelj. Prof. dr. Werner na pr. drži, da bi se ta okolnost mogla iskoristiti u povoljnom smislu kod dvaju susjednih temelja spajajući ih »točkasto« samo u gornjem dijelu (sl. 24).



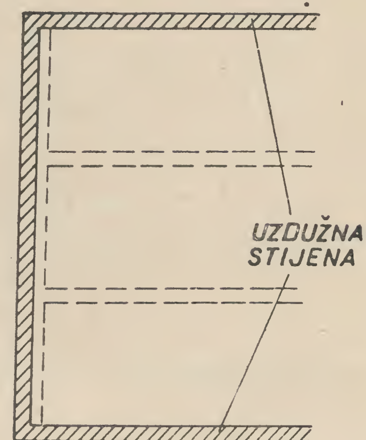

Slika 24

(Na taj bi se način moglo onda nadomjestiti prije spomenuto povoljno djelovanje aktivnoga tlaka zemlje na jednostrano prošireni temelj na međi, kad se ta zemlja otkopa i sagradi susjedna zgrada).

Veličinu toga bočnog pritiska temelja na temelj, odnosno njegovu horizontalnu komponentu teško je ocijeniti. Sigurno je, da je ona manja od trenja u podnici temelja $\mu \cdot P$, odnosno $\nu \cdot F$ (gdje je F površina temelja, a $\nu$ nosivost za trenje na jedinicu površine). Isto je tako sigurno, da je utjecaj ove sile na ekscentrično opterećeni temelj to povoljniji, što je visina temelja veća, odnosno, što je dodirna točka viša iznad podnice temelja.

Ovi nam primjeri, eto, daju odgovor na pitanje, zašto ne dolazi do neželjenih posljedica kod mnogih zgrada, kod kojih su temelji izvedeni s neopravdano jednostranim proširenjem.

Kao varijantu toga načina spominjem i rješenje (vidi kod prof. ing. Marinkovića, »Fundiranje«), koje uistinu dolazi u obzir tek iznimno. Riječ je naime o takvom ekscentrično opterećenom temeljnom pasu uz među, kojega bi zaokretanje imale da spriječe stijene okomite na među, dakle t. zv. uzdužne stijene (sl. 25). Takvo rješenje ima međutim,



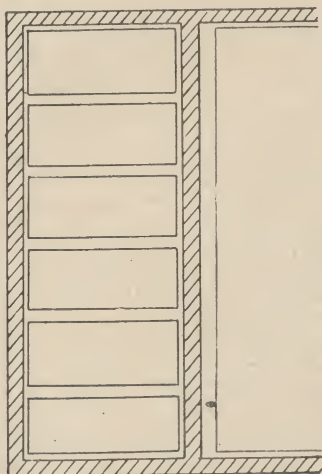

Slika 25

po pravilu, kod zgrada sa stijenama, samo akademsku vrijednost. Ukoliko bismo naime imali uzdužne stijene, u koje bismo mogli upeti relativno jaki temeljni pas, kako bismo na taj način osigurali prijenos temeljnih momenata torzijom, očito je, da bi tada bilo povoljnije izvesti glavne temelje ispod tih uzdužnih stijena, a na njih prenijeti relativno mali teret od konstrukcije na međi. Ukoliko je riječ o zgradama s poprečnim glavnim stijenama (a tu upravo dolazi u obzir jednostrano prošireni temelj na međi), uzdužne su stijene redovito preslabe a da bi mogle osigurati potrebno uklještenje, jer su to samo t. zv. parapetne stijene. Jednom riječi, to rješenje i ne dolazi u obzir kod zgrada sa stijenama, već samo kod zgrada sa stuporedom na međi.

3) Kao treće po redu navodim rješenje, koje je po mojemu mišljenju najpouzdanije i najekonomičnije, a koje sam s uspjehom primjenio kod nekih objekata (Ribnjak 10, Derenčinova 52, Vodnikova 3). Riječ je naime o temeljenju stijene na međi s pomoću temeljnih nosača okomitih na među (sl. 26).

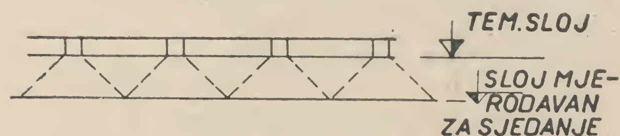
Ne mislim, da iznosim nešto posve novo, jer vjerujem da je takva rješenja tu i tamo zacijelo već primjenio mnogi stručnjak, i jer se konačno zna za

drvene roštilje, koje su kod temeljenja primjenjivali naši predšasnici ne znajući za armirani beton. Moram ipak istaknuti činjenicu, da u literaturi o temeljenju nisam naišao na takvo rješenje uopće, a kamoli na njegovu glavnu karakteristiku, t. j. na prijedlog, da se potpuno iskoristi neposredni,



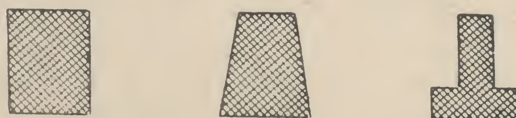
Slika 26

nešto prošireni temelj ispod stijene, a preostali teret (višak) da se prenese na tlo poprečnim temeljnim nosačima. Poprečni temeljni nosači spominju se u literaturi o temeljenju uzgredice, samo kao sredstvo, da se spriječi zaokretanje jednostrano proširenih temelja s jakim istakom. Takvim je nosačima, prema navodima u literaturi, namijenjeno da preuzmu torziju vrlo ekscentrično opterećenog temeljnog pojasa duž međe (Schoklitsch, »Der Grundbau«, str. 267.) Moj prijedlog teži za tim, da se ti poprečni nosači iskoriste za izravno prenošenje na tlo i da se izbjegnu jednostrano prošireni temelji s velikim istakom, odnosno da se pojava torzije u temeljnom pasu svede na minimum, pa da se čak i potpuno eliminira. To možemo postići to lakše, što eventualni manji istak temeljnoga pasa uz među ima oslonce na tri strane, tako da torzije praktički nema. S obzirom na to razmak između tih nosača ne bi smio da bude prevelik, a treba ga k tome odabirati tako, da se sa što manjim brojem tih nosača izvrši pouzdan prijenos tereta na tlo.




Slika 27

Na sl. 27 jasno se vidi, da bi eventualna izvedba ploče umjesto pojedinačnih nosača mogla značiti nepotrebno trošenje materijala. Kod vrlo slabog tla takvi će se nosači, naravno, nužno stopiti u jednu ploču, odnosno ploču s rebrima — što je zapravo daljna varijanta ovoga načina — a kod vrlo dobra tla, kao što je na pr. pećina, takvi nosači ne će po svoj prilici ni biti potrebni. Ti poprečni temeljni nosači treba da su što krući, kako bi se osigurala pouzdana i što jednoličnija razdioba tereta na tlo, pa je visina tih nosača kod navedenih objekata bila odabrana sa 1/4 raspona do iznimno 1/7 raspona. Općenito uzevši, dobro je da ta visina bude bar u polju što veća, a na krajevima, prema stvarnoj potrebi s obzirom na tangencijalne napone. Prijesjek takvih nosača bio je pun, no on može da bude i raščlanjen (sl. 28). Statički račun za takve nosače



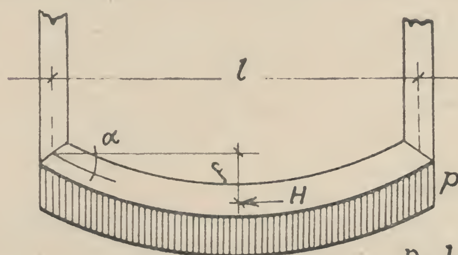
Slika 28

može da bude približan i točan. Moram odmah upozoriti, da nekih većih razlika između približnog i točnog proračuna nema kod svih t. zv. normalnih slučajeva, t. j. kad je riječ o prosječno dobru tlu i o dovoljno krutim nosačima.

Neprilika je jedino u tome, što onaj tko nije dovoljno informiran o točnom računu, nije zapravo podoban da ocijeni, koji je slučaj »normalan«. Za informaciju napominjem, da najveći dio naših stambenih zgrada, izvedenih na temeljnom tlu, kakvo je manje više svekoliko temeljno tlo na području Zagreba, ide u red normalnih slučajeva, uz pretpostavku, da je visina temeljnih poprečnih nosača oko 1/4 do 1/8 raspona.

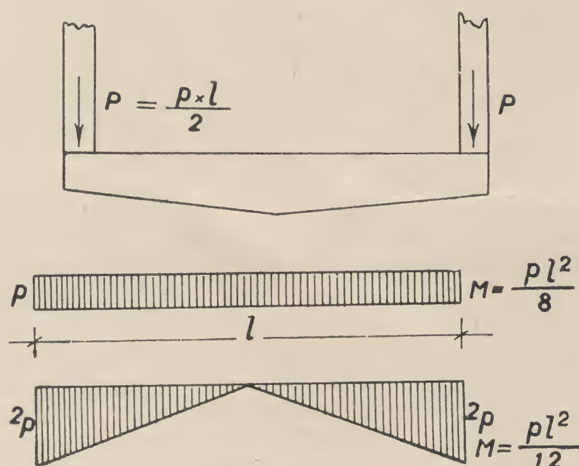
Promotrimo izbliže oba načina računanja.

a) Približni način računanja osniva se na pretpostavci, da je teret, odnosno naprezanje u tlu ispod nosača jednoliko raspodijeljeno duž cijeloga nosača (razumije se, uz konstantnu širinu nosača.) To je, naravno, vrlo povoljna pretpostavka, koja se vjerojatno oslanja na analogiju s proračunom obrtnutih temeljnih lukova i svodova, koji su se izvodili prije nego što se znalo za armirani beton, a kojima ćemo se kojiput i danas poslužiti, budemo li stjecajem okolnosti prisiljeni da odustanemo od izvedbe u armiranom betonu (na pr. zbog nestašice čelika). Proračun takva luka bio je, kako znamo, približan, pa prema tome i vrlo jednostavan, te je kao takav i prihvaćen i općenito uvriježen. Pretpostavljena




Slika 29

je naime jednolična razdioba tereta na tlo ispod čitave površine luka, a cio se problem sveo na opće poznato približno dimenzioniranje luka (sl. 29). O horizontalnoj komponenti reakcije luka na krajnjem osloncu, dakle ispod stijene na granici, nije čak bilo ni govora. Kod armirano-betonskih temeljnih nosača stanje je u tom pogledu povoljnije, i kad bismo tu, kao i kod obrnutih lukova, pretpostavili jednoličnu raspodjelu tereta na tlo duž cijeloga temeljnog nosača — jedna krajnost —, proračun bi zaista bio veoma jednostavan. Ta raspodjela može međutim da bude i prilično drukčija, i ta bi činjenica upućivala na potrebu i nužnost točnoga računanja u svakom slučaju. U izlaganju o točnom računu vidjet ćemo međutim, da je pretpostavka o jednolikoj raspodjeli tereta na tlo duž cijeloga nosača ipak opravdana za sve slučajeve, kod kojih je omjer raspona nosača i t. zv. elastične dužine nosača — označen sa $\lambda$ — manji od 1,2. Kako ne ćemo uvijek moći da provedemo točan račun, držim ipak, da će biti dovoljno kao krajnje nepovoljni slučaj (naravno kod dovoljno kruta nosača) pretpostaviti raspodjelu tereta, odnosno raspodjelu napona na tlo, koja se linearno mijenja od maksimuma na krajevima do nule u sredini raspona (sl. 30) — druga krajnost. Na takav pri-




Slika 30

jedlog (pa bilo to ne znam kako opasno) odvažujem se zato, što to znači ipak neki napredak prema dosad uobičajenom približnom računu, i zato, što pretpostavljam, da će se i kod predloženog približnog načina računanja provjeriti odnos između raspona i elastične duljine nosača ($\lambda$), te da će se, u slučaju da je on na pr. veći od 3, odustati uopće od približnog načina računanja i tražiti mogućnosti, da se račun provede točno.

Za t. zv. normalne slučajeve ($\lambda < 2$), koji su u praksi ipak najčešći, mogli bismo se prema tome zadovoljiti sa srednjom vrijednošću između naprijed spomenutih dviju krajnosti. Ovdje napominjem, da je kod temeljnih nosača, što sam ih naveo kao primjer za primjenu ovoga načina, vrijednost za $\lambda$ uz $C = 5$ kg/cm³ i uz $E_0 = 210\,000$ kg/cm², iznosila manje od 1,75, iako su dimenzije nosača u prva dva slučaja bile odabrane bez prethodnog proračunavanja elastične duljine.

Još se nameće pitanje, da li je takav temeljni nosač slobodno položen ili djelomično upet. Pri izvedbi se takav nosač obično ne povezuje sa stijenom, pa ga možemo smatrati slobodno položenim. Namjerno povezivanje sa stijenom i osiguravanjem neke djelomične upetosti nije s izvođačkoga gledišta najpoželjnije s obzirom na inače otežanu izvedbu uz susjednu među, odnosno susjedni objekt, s obzirom na nužni rad u odsječcima i po duljini i po visini, kao i s obzirom na uobičajenu izolaciju iznad temelja, ali bi značilo prednost sa statičko-konstruktorskoga gledišta. Ovakvom bismo izvedbom naime bili bliže našoj računskoj pretpostavci o uklještenosti stijene u temelju, kao i pretpostavci o nepokretnosti temelja, što je i onako često razlog podijeljenosti mišljenja o potpunoj upetosti stijene, odnosno stupa u temelju. Unatoč toj statičko-konstruktorskoj prednosti ne bih mogao preporučiti kruto povezivanje temeljnih nosača sa stijenom, osim ondje gdje je to prijeko potrebno, gdje je to lako provedivo i ekonomično.

Moment savijanja, prema kojemu bi približno dimenzionirali takav temeljni nosač, bio bi prema tome $M = \frac{p\,l^2}{10}$, gdje je »p« prosječno opterećenje nosača (umanjeno za vlastitu težinu nosača).

b) Kod točnoga računa tretiraju se temeljni nosači kao nosači na elastičnoj podlozi (tlu). Pritom se, naravno, prije svega uzima u obzir krutost nosača — karakterizirana momentom tromosti (I) — i modulom elastičnosti materijala, od kojega je nosač (E) — te popustljivost podloge (tla), koju karakterizira konstanta tla (C), odnosno t. zv. steljišni koeficijent. Neki autori, kao na pr. Kögler i Scheidig, uvode, umjesto steljišnoga koeficijenta (C), modul elastičnosti tla ($E_1$).

Na tom su području zacijelo najpoznatiji izvodi dra. ing. H. Zimmermanna, koji je problem ovakvih nosača na elastičnoj podlozi riješio s pomoću diferencijalnih jednadžbi četvrtoga stupnja, polazeći od elastične linije nosača. Integriranjem, određivanjem odgovarajućih konstanti i supstitucijom dobiveni su izrazi

1) za naprezanje u tlu ispod nosača:

$$p = \frac{P}{2\,bL}\, e^{-\varphi} (\cos\varphi + \sin\varphi) = \frac{P}{2\,bL}\,\eta;$$

2) za moment savijanja u nosaču:

$$M = \frac{pL}{4}\, e^{-\varphi} (\cos\varphi + \sin\varphi) = \frac{PL}{4}\,\mu.$$

Pritom je

$L = \sqrt[4]{\frac{4\;EI}{C \cdot b}}$ = elastična duljina nosača,

X = udaljenost od mjesta gdje djeluje sila,

I = moment tromosti nosača,

E = modul elastičnosti nosača (za beton 210 000 $kg/cm^2$,

C = konstanta tla (steljišni koeficijent),

P = sila na nosaču

e = baza log nat = 2,78 . . .

Za koeficijente $\eta$ i $\mu$ (kao i za koeficijente, s pomoću kojih se izračunava nagib tangente i poprečna sila) postoje dijagrami dra. Zimmermanna, a uz neke preinake i dijagrami nekih drugih autora. Na veoma praktičan način — po mojemu mišljenju — omogućili su točan proračun (na osnovu Zimmermannovih izvoda) Kögler i Scheidig.

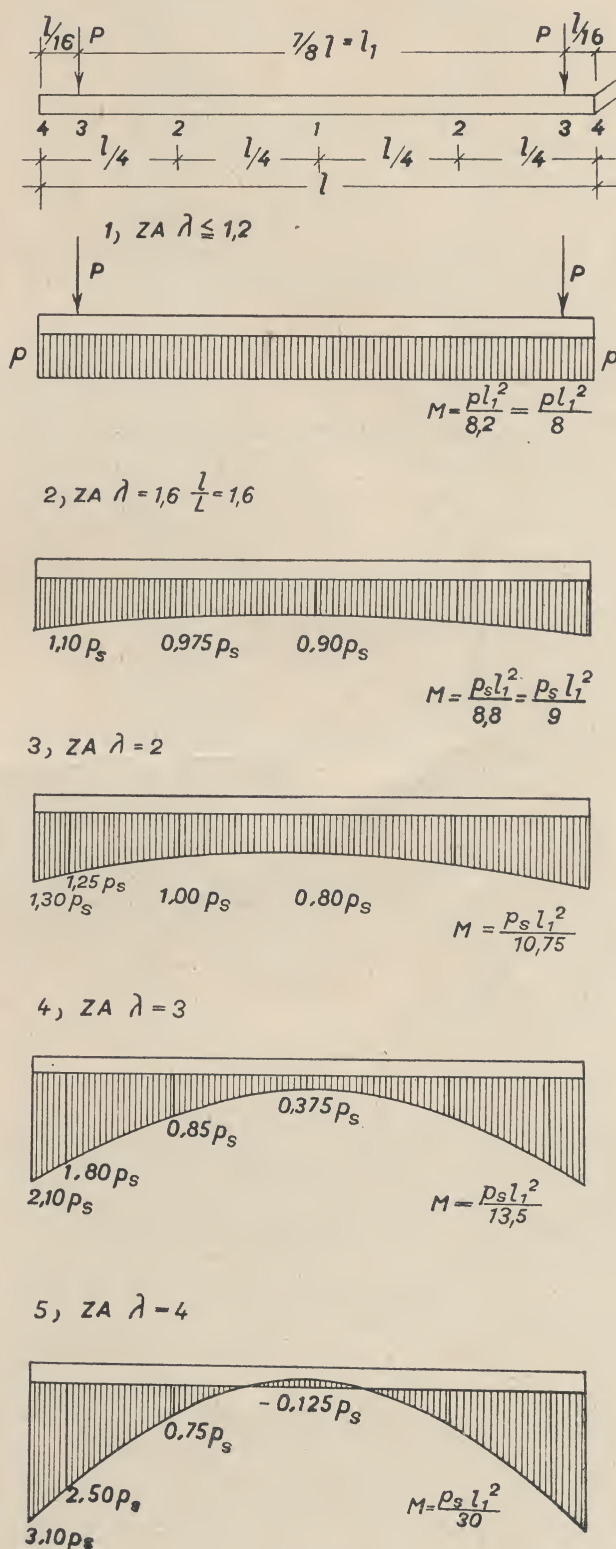
Kao što se razabire iz gornjih izraza, točnost toga računa ovisi zapravo o točnosti, kojom je određena konstanta tla (steljišni koeficijent C). Kako se tu međutim radi o četvrtom korijenu iz ove vrijednosti, nije očito prijeko potrebno u svakom pojedinom slučaju insistirati na steljišnom koeficijentu, koji bi se utvrdio pokusima, jer ga, na pr., kod srednjega tla možemo ocijeniti unutar granice od 3—10 $kg/cm^3$, što u najgorem slučaju može dovesti do razlike manje od 30%. Vjerujem, međutim, da se tolika razlika zbog pogrešne ocjene steljišnoga koeficijenta ne će pojaviti. Ujedno moram upozoriti, da postoje sprave, odnosno aparati, s pomoću kojih možemo brzo i sa zadovoljavajućom točnošću odrediti konstanta tla.

Zbog boljega pregleda i mogućnosti sigurnijega ocjenjivanja u pojedinim slučajevima iznosim sliku raspodjele napona u tlu ispod temeljnoga nosača opterećenog dvjema jednakim silama »P« uz krajeve nosača, za različite omjere ($\lambda$) raspona i elastične duljine (sl. 31). Uz sliku napona upisan je i maksimalni moment u nosaču. Vrijednosti za napone i za moment izračunao sam prema Kögler-Scheidigovu grafikonu. Takav slučaj nosača, koji je opterećen silama na krajevima, vrlo je čest u praksi, a neznatna razlika može da bude samo u udaljenosti sila od krajeva nosača. Ti grafički prikazi mogu prema tome dobro poslužiti u praksi.

S obzirom na prikazanu raspodjelu napona u tlu (sl. 31) trebalo bi poprečne temeljne nosače izvoditi s promjenljivom širinom (sl. 32a). Radi jednostavnije izvedbe preporučio bih umjesto toga samo proširenja kod priključka tih nosača na temeljni pas uz među, t. zv. horizontalne vute (sl. 32b, c, d). Takvim proširenjima rješavamo odmah i pitanje torzije, izazvane jednostranim proširenjem temeljnoga pasa uz među, u dijelu između poprečnih temeljnih nosača.

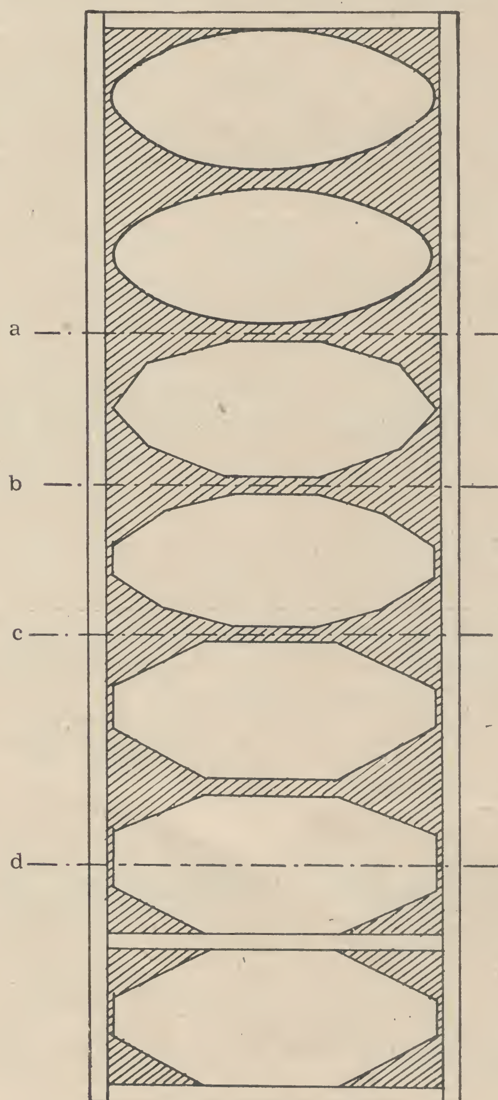
Zaključujući izlaganje o ovom načinu temeljenja stijene na međi ističem ponovno, da pri odabiranju temeljnih nosača okomitih na među ne smijemo zanemariti ono što nam pruža sama stijena, odnosno njezin nešto proširen temeljni dio.

Govoreći o prednostima toga načina moram prije svega istaknuti činjenicu, da se znatan dio tereta od stijene na međi prenosi na »vlastito tlo«, čega kod prva dva načina nije u toj mjeri bilo, te da je zbog toga ovaj način pouzdaniji od prije navedenih načina. Kod toga načina nema neiskorištenih poprečnih nosača (za prenošenje tereta na tlo), ni potrebe da se ide u dubinu kao kod načina pod 1), a nema — općenito uzevši — ni one nepo-




Slika 31

uzdanosti kao kod načina pod 2). Isto tako nema kod toga načina ni potrebe da se svladava torzija, što je upravo i bio uvjet za pouzdano temeljenje kod varijante spomenute pod 2). Sam pak proračun — kod ovog, po mojem mišljenju najpovoljnijeg načina — u većini je slučajeva posve jednostavan (vidjeli smo, da i približni račun može zadovoljiti), a temelji stijene na međi, predviđeni po ovom načinu, predstavljaju gotovo uvijek najekonomičnije rješenje.




Slika 32

4) Kao posljednje navodim rješenje sa zajedničkom temeljnom pločom ispod stijene na međi i prve najbliže stijene. To je doduše najpouzdaniji, ali — kao što će se vidjeti — i najskuplji način temeljenja na međi. To rješenje trebalo bi primijeniti samo onda, kad je zaista prijeko potrebno. To će biti, po pravilu, kod vrlo slabog temeljnog tla i kod relativno velikih tereta. Samo »veća pouzdanost« ne bi smjela biti jedinim razlogom za primjenu toga načina, jer smo vidjeli, da je i način s poprečnim temeljnim nosačima— iako je jeftiniji — dovoljno pouzdan. Sama temeljna ploča često je neiskorištena s obzirom na svoju površinu. Tu su onda prosječna naprezanja u tlu znatno ispod dopuštene granice, dok su naprezanja ispod krajeva ploče istodobno veća od dopuštenih. Takve temeljne ploče trebalo bi uvijek proračunati po točnom načinu, opisanom pod 3), zbog njihove relativno male krutosti. Sama ploča može biti ili slobodno položena, ili kruto povezana sa stijenom. Kruto je povezivanje bez sumnje ispravnija koncepcija, osobito s užega konstruktorsko-statičkog gledišta, no takvo rješenje može da bude vrlo neekonomično, i to zbog potrebe, da se u znatnoj mjeri armira stijena, koja inače nije bila predviđena u armiranom betonu, već je bila predviđena čak u betonu slabije marke.

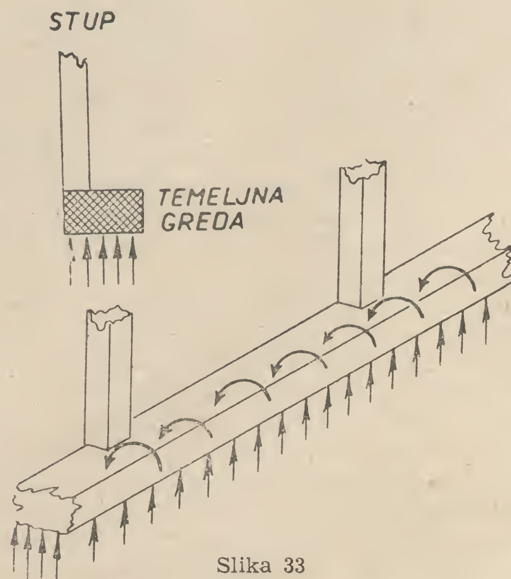
Neekonomičnost rješenja s temeljnom pločom dolazi osobito do izražaja kod zgrada samo s poprečnim glavnim stijenama, jer se tu radi o jednosmjerno armiranoj, jako opterećenoj ploči relativno velikoga raspona.

Temeljne ploče s nosačima (rebraste ploče) mogle bi zacijelo dovesti do ekonomičnijih rješenja, kad se pritom ne bi moralo ići na veću dubinu i kad se prostor između nosača ne bi morao ispuniti nasipom, odnosno, kad se povrh nosača ne bi morala izvesti još i ploča za pod najnižega kata (podruma). Rješenje s nasipom djeluje na prvi pogled povoljno, jer se taj nasip kod dimenzioniranja temeljne ploče očituje kao protuteret, koji je međutim ipak suvišan teret. Sami nosači zapreka su kod izvođenja kanalizacije i ostalih instalacija.

Ostaje mi još da kažem nešto i o temeljima stuporeda na susjednoj međi. Ti se temelji rješavaju, općenito uzevši, na iste načine kao i temelji stijene, samo uz neke modifikacije, koje proizlaze iz razlike između stuporeda i stijene.

Pogledajmo po redu pojedine načine.

Ad 1) Sve što je rečeno za slučaj stijene vrijedi i za slučaj stuporeda, uz napomenu, da poprečne

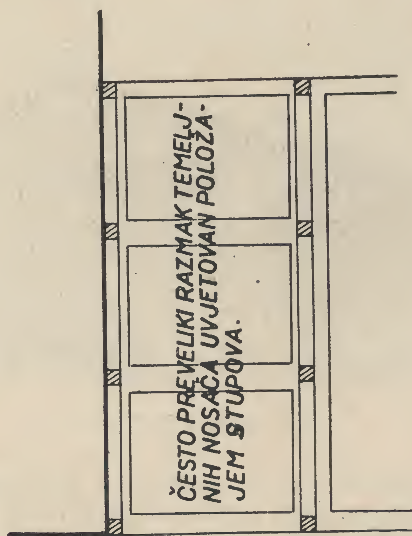



Slika 33

grede treba sada predvidjeti samo ispod stupova, a da uzdužni temeljni pas uz među treba dimenzionirati kao kontra-gredu.

Ad 2) Kod ovog je načina razlika prema slučaju sa stijenom znatna, te se veoma nepovoljno očituje. Ovdje je naime potrebno jednostrano prošireni temeljni pas dimenzionirati i kao kontra-gredu i kao gredu izvrgnutu torziji (sl. 33). Tom prilikom dotakao bih se dosta nejasnoga tumačenja takva slučaja u udžbeniku »Fundiranje« prof. ing. Marinkovića. Tu je naime temeljni nosač dimenzioniran za moment torzije po jedinici dužine, a nije istaknuta potreba, da se on dimenzionira za maksimalni moment torzije uz oslonce. Kod toga načina, koji je kod stupoveda istovjetan sa prije spomenutom varijantom, stupovi moraju preuzeti momente zaokretanja od temeljne grede i prenijeti ih dalje na gornju konstrukciju. Mislim, da ne treba ponovno isticati, kako su takva rješenja vrlo skupa, a ipak manje pouzdana od rješenja s temeljnim nosačima okomitim na među.

Ad 3) Kod ovoga načina vrijedi za temelje stupoveda na međi sve ono što je rečeno za slučaj stijene na međi, uz napomenu, da temeljne nosače, okomite na ravninu omeđenja, treba predvidjeti samo ispod stupova, a ne između njih (sl. 34), i da




Slika 34

temeljni pas duž granice treba dimenzionirati kao kontra-gredu za odgovarajuće opterećenje. Sigurno je, da će takve okolnosti dovesti i kod ovog — inače najpovoljnijeg — načina do složenijeg i skupljeg rješenja nego kod stijene.

Ad 4) Neekonomičnosti ovoga načina pridonosi — kod pojave stupoveda umjesto stijene na međi — činjenica, da uz među treba izvesti kontra-gredu kao nosač ploče.

Pitanje projektiranja i proračunavanja temelja uz međe i općenito uz zapreke nije — kako se iz ovoga prikaza može razabrati — posve jednostavno, no nije ni osobito složeno, kao što nam se to katkada pričinja. Vidimo, da za svaki pojedini slučaj ima doduše više rješenja, ali da je u konkretnom slučaju samo jedno rješenje optimalno, t. j. najpouzdanije i najekonomičnije. U velikom broju slučajeva bit će to rješenje s temeljnim nosačima okomitim na među, odnosno zapreku, dakle na način opisan pod toč. 3) ovoga prikaza.

Za bolju ilustraciju svega što je navedeno iznosim kao primjer temelje stijene na međi kod zgrade u Vodnikovoj ulici br. 3. Uspoređujući troškove temelja kod sva četiri načina vidimo, da se oni odnose po prilici kao 2 : 1 : 1 :2, što znači, da je cijena temelja, predviđenih po drugom i trećem načinu samo oko 50% od cijene po prvom i četvrtom načinu. Temelji uz među prema prvom načinu izazvali bi u konkretnom slučaju još i veće troškove — zbog poduhvatanja i podgrađivanja susjednih zgrada, koje bi bilo potrebno izvesti zbog njihove veće dubine. Temelje prema drugom načinu — iako su po ekonomičnosti ravni temeljima po trećem načinu — ne smatram podjednako vrijednima s obzirom na pouzdanost.

Ukupna uštednja na temeljima izvedenim prema trećemu načinu iznosi, u usporedbi s temeljima prema prvom i četvrtom načinu, oko 310 000 Din (24 900—12 000) x 24 $m^1$. Ta uštednja nije osobito velika u odnosu na ukupnu građevnu svotu, jer je tu riječ o veoma dugačkoj zgradi (43 m), koja ima samo dva temelja na međama. Kod zgrada manje duljine, na kakve obično nailazimo u izgrađenom dijelu naselja i gradova, uštednja bi bila procentualno znatno veća. S obzirom na ukupne troškove temelja kod te zgrade (1,4 miliona Din) predstavlja ta uštednja čak 22%, a to je već činjenica, koju ne možemo i ne smijemo pustiti iz vida kod projektiranja i građenja takve zgrade.

LITERATURA

Schoklitsch A., Der Grundbau, Wien, Springer Verlag, 1952
Kollbrunner C. F., Fundation und Konsolidation, S. D. V., Zürich
Kögler u. Scheidig, Baugrund und Bauwerk, Berlin, 1941, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn
Marinković M., Fundiranje, Beograd, 1952
Brandeis F, Beitrag zur Berechnung von Fundamenten (Beton und Eisen, 1929)
Zimmermann Dr. Ing. H., Die Berechnung des Eisenbahnoberbaues, Leipzig 1906

## TEČAJ »CEMENT I BETON«

Mnoga poduzeća i pojedinci se obraćaju na Društvo građevinskih inženjera i tehničara Hrvatske s upitom da li će se i ove godine održavati tečajevi za usavršavanje znanja inženjera i tehničara.

Ovime obavještavamo zainteresirane, da će se za vrijeme ove zime održavati nekoliko tečaja. Početkom veljače počinje tečaj »Cement i beton«, pa molimo sve kolege koji žele tom tečaju prisustvovati, da se odmah prijave, da bi rukovodstvo tečaja moglo na vrijeme izraditi potrebni raspored. Prijave poslati na adresu: Društvo GIT Hrvatske, Zagreb, Berislavićeva ul. br. 6.

Točan program i datum početka tečaja javit ćemo naknadno.

***S naših gradilišta***

# MONTAŽNO GRAĐEVINARSTVO KOD NAS

Ing. **Miroslav Helebrant**, Zagreb

**Historijat**

Prvi pokušaji projektiranja proizvodnje i montaže kuća od gotovih dijelova učinjeni su odmah nakon oslobođenja već u 1947. godini. Pokusi su vršeni u Srbiji, Sloveniji, Bosni i Hrvatskoj. Uspjesi u početku nisu zadovoljavali, no iskustva su bila dragocjena za daljni progres građevinarstva.

U Hrvatskoj započinje god. 1953. ozbiljna akcija da se stvori solidna baza za serijsku proizvodnju kuća. Konstruiran je prototip iz domaćih materijala. Prototip je u jesen 1953. izložen na Zagrebačkom velesajmu i podvrgnut svestranoj kritici. Kuća je izdržala kritiku, pa mala grupa od svega 30 radnika i službenika osniva 1. I. 1955. »Jugomont«. Nova tvornica započinje rad u zapuštenim prostorijama u Horvaćanskoj cesti 29. Čitav kolektiv se bori za prve uspjehe. Kolektiv pomažu N. O. G. Zagreba i građevno poduzeće »Tempo«, Zagreb. Osim toga nije bilo nikakove pomoći.

Navršava se prva godina borbe i rada. Planirani bruto produkt od 60 miliona znatno je premašen, izvršeni bruto produkt iznosi čak 110 miliona. Početkom god. 1956. plan se povećava, interes postaje veći, tvornica se proširuje, kvalitet kuća stalno se poboljšava. Osniva se vlastiti konstrukcioni biro s laboratorijem za ispitivanje naših materijala i konstrukcija. Studiozni radovi postaju sve neophodniji i veći. Iako u Saveznoj građevinskoj komori postoje posebni veliki krediti za studijske radove, poduzeće ne dobiva ni najmanju pomoć za te radove; te troškove snosi kolektiv.



Prototip montažne prizemnice



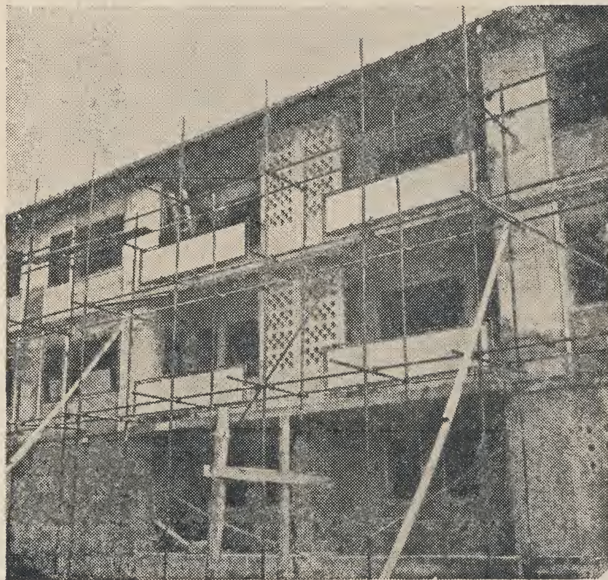
Montažna prizemnica

Ta godina je godina učvršćenja kolektiva. Grade se stanovi, upravne zgrade, škole, skladišta i drugo.

Potražnja je sve veća, investitori sve više prihvaćaju taj sistem progresivnog građevinarstva. To stanje izaziva znatno proširenje i poduzeće dobiva investicioni kredit za povećanje proizvodnog prostora i nabavu mehanizacije. Pod kraj godine poduzeće podiže prve jednokatnice. I godine 1956. bruto produkt se neočekivano povećava.

Godine 1957. počinje s intenzivnim radovima na proširenju tvornice u Horvaćanskoj cesti 29. Prve dizalice zamjenjuju radnu snagu, jednu dotrajalu mješalicu za beton zamjenjuje šest novih, domaće proizvodnje. Nabavljaju se vlastiti kamioni, također domaći. Broj radnika i službenika povećava se od 30 u god. 1955. na 750 u god. 1957. Bruto produkt od 60 miliona u 1955. god. približava se 1 mi-

lijardi. Pretvoreno u stanove to iznosi gotovo tri dvosobna stana dnevno. Dostignuće u toj godini su dvokatnice i gotovo 50% godišnjih zadataka bit će izvršeno u dvokatnim objektima.

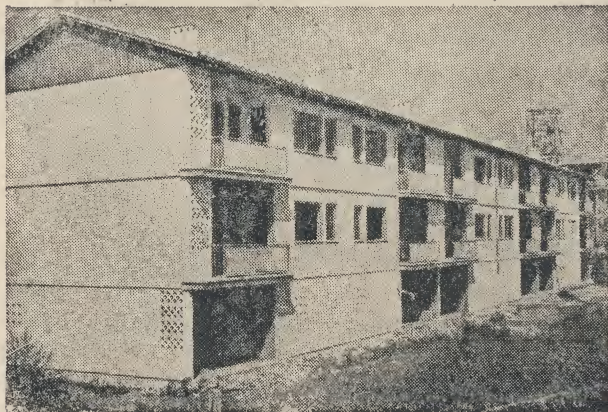


Dvokatnica u naselju Autoput — Držićeva ulica

Taj razvitak tvornice, iako trnovit i mučan, stvorio je čvrst kadar trudbenika i boraca za progresivno građenje u našoj zemlji.

**Općenito o sitemu**

Tvornica »Jugomont« danas radi po t. zv. »Pano« sistemu, to je sistem zidnih ploča visine jednog kata, koje preuzimaju sva opterećenja, tako da u statičkom pogledu nije potrebna nikakova posebna nosiva konstrukcija. Ti panoi treba osim toga da toplinsko-izolaciono i zvučno-izolaciono zadovoljavaju propisima i komfor stanovnika. Težina tih panoa je cca 400 kg, pa se to kategorizira kao »laka montaža«. Montaža tih elemenata može se još vršiti ručno; time ovaj sistem ima velikih prednosti pred ostalim kategorijama, »srednjom« i »teškom« montažom.



Dvokatnica u naselju Autoput — Držićeva ulica

»Srednjom montažom« nazivamo gradnju s elementima težine 500—1 500 kg. Visina panoa je visina kata, a širina cca 2—3 m. U proizvodnji i kod montaže su potrebne dizalice, i to autokranovi i dizalice gusjeničarke. Za prevoz su potrebni teži kamioni ili niskotovarne prikolice.

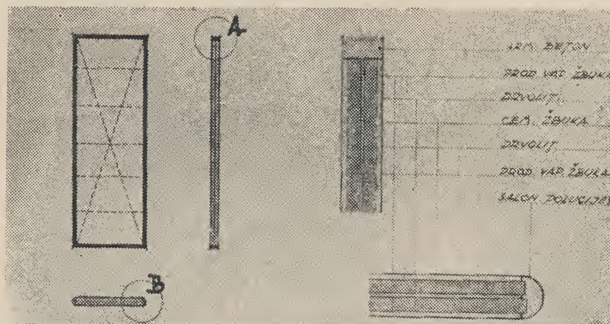
Pod »teškom montažom« podrazumijevamo gradnju s elementima do 5 000 kg. Visina elementa je jednaka visini kata, a širina iznosi 4,0—5,0 m. Za proizvodnju su potrebni specijalni uređaji za prenos panoa, a kod skladištenja, utovara, istovara i montaže jaki portalni kranovi.

Svi ti sistemi zovu se pano sistemi, za razliku od skeletnih sistema, gdje posebni montažni skelet služi za preuzimanje statičkih funkcija, a uložene ploče imaju samo funkciju oblikovanja prostora. Danas je skeletni sistem u montažnom građevinarstvu potisnut u pozadinu, pa ga u daljnjim izvodima ne ćemo spominjati.

**Sistem »Jugomont« — »L«**

Konstruktor tog sistema, pisac ovog članka, patentirao je svoju konstrukciju 1953. godine kod »Saveznog ureda za patente« u Beogradu. To je sistem motanžno — demontažan, a sastoji se od 4 osnovna elementa, i to:

a) zidni pano, b) sidro, c) brtvilo, d) krovni elemenat.




Zidni elemenat

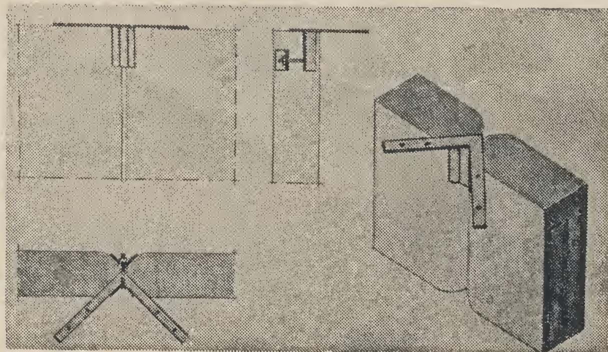
a) Zidni pano

Taj elemenat ima širinu 100 cm, visinu 2,75 m (visina kata) i debljinu 12 cm. Sastoji se od armiranobetonskog uskog okvira ukrućenog sa dvije dijagonale od betonskog željeza $\phi$ 8 mm. U presjeku imamo od spoja prema unutra Hirofa (plemenita štrcana žbuka od mramornih zrnaca), ispod toga sloj žbuke debljine 2—3 mm od kvarcnog pijeska i mramornog brašna za osiguranje nepropusnosti za vodu, zatim grubu žbuku od produženog cementnog morta, dalje sloj drvolita (izolacionu ploču od drvene vune vezanu portland cementom) 3,5 cm, cementnu žbuku za konzervaciju dijagonalnih željeza debljine 1,5—2,0 cm, opet sloj drvolita 3,5 cm i iznutra produžnu cementnu žbuku. Izolaciona sposobnost takovog presjeka jednaka je zidu od glinene opeke debelom 76 cm. Statička nosivost je za ver-

tikalno opterećenje 30 t po panou, a potrebna nosivost kod prizemnice je oko 2 t; prema tome je koeficijent sigurnosti K = 30/2 = 15. Vertikalni rubovi panoa zaštićeni su azbest-cementnim polucijevima, što ima svrhu da omogući siguran transport panoa već nakon 3 dana; drugo je svojstvo polucijevi, da osigurava glatku površinu za brtvljenje na sastavima, o čemu ćemo kasnije govoriti. Svaki pano usidren je u temeljnu ploču, odnosno zid sa dva sidra od betonskog željeza Ø 8 mm, što istodobno služi za vješanje kod montaže sa dizalicom. Za vrijeme proizvodnje ugrađuju se u panoe sve cijevi vodovoda i kanalizacije i drugih instalacija. Na gradilištu se priključuju samo sanitarni predmeti i uvlače žice u Bergmanovu cijev. Prozori i vrata ugrađuju se u panoe u tvornici okovani, oličeni i ustakljeni, tako da se skrati vrijeme montaže. Težina okovanih panoa iznosi cca 400 kg, pa se sva montaža može vršiti i ručno bez dizalica. Panoi se kod montaže usidruju u temeljnu ploču i poravnavaju na laganu vanjsku skelu. Ukrućenje panoa postizava se vezom panoa sa krovištem posredstvom gornjih sidra o kojima ćemo posebno govoriti.

b) Sidro

To je konstruktivni element koji veže zidne panoe sa krovištem. Sastoji se od čvrste pločice i slobodne pločice, koja je povezana vijkom i maticom, da se isdro kod stezanja poveže sa panoima. Na

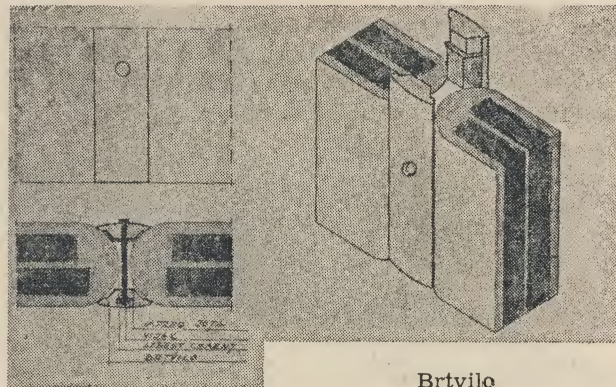


Sidro

sidro je navareno plosnato željezo sa dva kraka, sastavljeno pod kutem od 90°. Ta plosna željeza služe za povezivanje sidra s krovnim elementima i za fiksiranje zidnih panoa. To se povezivanje vrši drvenim vijcima. Na taj način otpada potreba gornjeg serklaža kuće.

c) Brtvilo

Element služi za brtvljenje rešaka, koje nastaju na sudaru dvaju zidnih panoa. Brtvilo se sastoji od vanjske i unutarnje trake. Materijal za brtvila obično je azbest-cement ili drvo. Azbest-cementna brtvila su šuplja, drvena puna. Vanjsko brtvilo podloženo je jutom, koja je natopljena hladnom bitumenskom pastom. Reška je ispunjena azbest-cementnim mortom. Međusobno povezivanje vrši se vijcima i maticom.



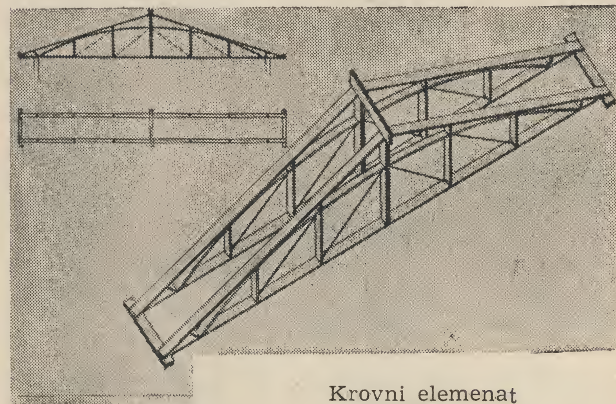
Brtvilo

d) Krovni element

Elemenat predstavlja u statičkom pogledu novu vrstu konstrukcije. To je kombinacija luka i rešetke. Sastoji se od gornje lučne daske 2 cm debele i 12 cm široke, te donje ravne daske istih dimenzija. Gornja daska preuzima tlačne sile konstrukcije, a donja vlačne. Spajanje donje vlačne daske vrši se pocinčanim čavlima ili moždanicima (»Buldog«) i vijcima. Za fiksiranje oblika služe vertikale, koje se postavljaju na svaki metar dužine nosača. Ta polja imaju dijagonalne pocinčane žice, koje služe za održavanje oblika i za preuzimanje dijagonalnih sila, koje se pojavljuju kod ove nove konstrukcije. Nosač se polaže na svaki metar razmaka.

Kod većih raspona sastavljaju se po 2—3 daske čavlima ili ljepilom, a žice Ø 2,5—3 mm zamjenjuju se betonskim željezom Ø 6—8 mm; natezanje se mjesto navijanjem vrši zateznim vijcima. Konstrukcija troši oko 50% materijala potrebnog za uobičajene tradicionalne konstrukcije, a isiptivanjem modela i gotovih nosača dobiveni su dobri rezultati. Ispitivanja je izvršio Zavod za ispitivanje materijala na Tehničkom fakultetu u Zagrebu.

Na kraju ćemo dati opis nekih drugih nekonstruktivnih elemenata, koji su bitni za dovršenje kuće.



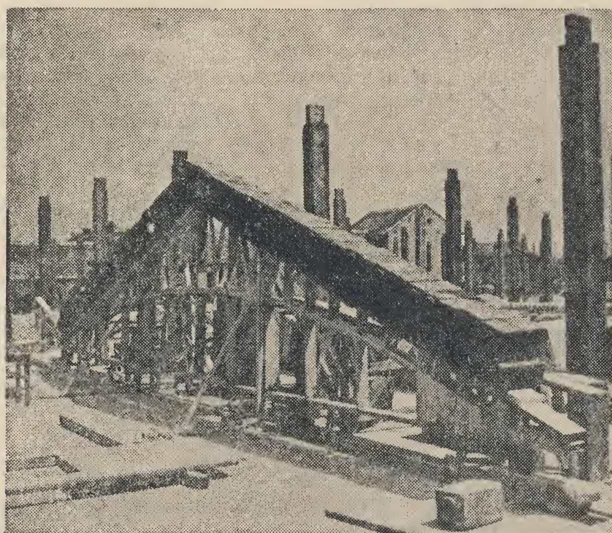
Krovni elemenat

Plafonke su od mekih lesonit ploča (presovana drvena vlakanca) vrlo dobrih toplinsko-izolacionih svojstava. Panoi su obično 100/100 cm, s podjelom na 50 cm. Ploča je prilijepljena na drveni okvir od dasaka 20 mm.

Dovratnici i doprozornici su od čeličnog profiliranog lima ili od drveta. Prozori krilo na krilo, od drveta. Vratna krila obostrano šperovana od tvrdog lesonita.

Instalacije su ugrađene u zidne panoe u unutarnji sloj drvolitne ploče, i sve ožbukano. Glavna vertikalna vodovodna cijev, kanalska i drugo smještena je u posebnom bloku od bims-betona ili u čeličnoj konstrukciji, opločenoj azbest-cementnim pločama.

Stropovi kod višekatnih zgrada su od bims-betona M—150 i specifične težine 1 500 kg/m³; dimenzije panoa su: visina 18 cm, širina 100 cm, i duljina 2—5 m, najčešće 4,0 m.Na gradilištima gdje nema mehanizacije postavljaju se stropovi od montažnih gredica iz šuplje stropne opeke.



Ispitivanje krovnog lučnog elementa

Stubišta se sastoje od 2 stubišna kraka te nastupnih i podestnih ploča debljine 5 cm od umjetnog kamena. Nastupne ploče vežu se vijcima za stubišne krakove.

Dimnjački elementi imaju dimenzije 30/30 cm i visine 50 cm, debljina stijene 8 cm, otvor je Ø 15 cm. Materijal je drobljena granulirana glinena opeka sa dodatkom kvarcnog pijeska, vezana aluminatnim »Istrabrand« cementom domaće proizvodnje, iz Tvornice cementa Pula. Rezultati ispitivanja su dobri, jer taj cement podnosi temperature do 1 300° C, a to je najvažniji faktor. Ti su dimnjaci dovoljno porozni, da upijaju kondenznu vodu, a isto tako odolijevaju propuštanju dima i prolazu topline. Topli podovi su parketni, brodarski, ili panoi veličine 50/50 cm od bukovih otpadnih daščica 20 mm širine, 15 mm debljine, povezane sa dvije poprečne letvice. Podloga je zalivena masom blindita od drvenih strugotina i magnezijeva cementa. Ti panoi se polažu na cementni mort, ukupna je debljina 6 cm.

Hladni podovi su pločice od teraca, bojadisanog azbest-cementa, ksilolita, a uskoro će se izrađivati ploče od azbest-bitumena, što će predstavljati najjeftiniji suvremenu pod, koji se uz dobru toplinsku izolaciju može polagati i u sobama.

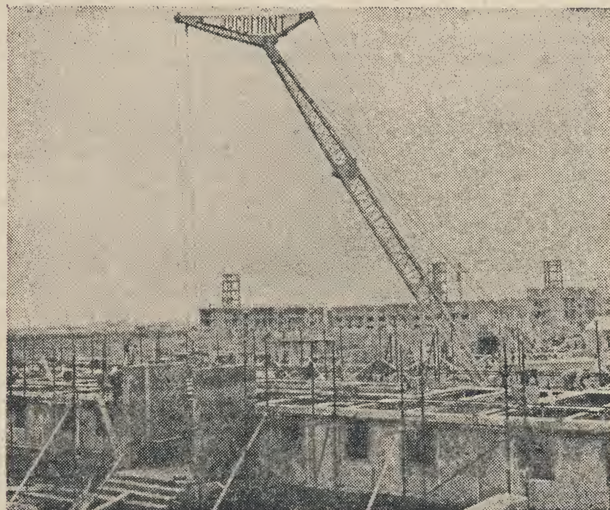
**Sistem »Jugomont« — »S«**

U godini 1958. »Jugomont« će staviti u serijsku proizvodnju elemente sistema srednje montaže »S«. To su elementi težine do 1 500 kg. Osnovni materijal će biti bims-beton od šljake visokih peći naših željezara, a kao toplinski izolacioni sloj upotrebit će se ploče 15—20 mm debljine od »Stirofora« ili »Polistirola«, koji je ove godine ušao u serijsku proizvodnju u Zagrebu i Ljubljani. To je danas najlaganiji i izolaciono najbolji materijal za ove svrhe. Prostorna težina tog materijala je cca 30 kg/m³. Izolaciona ploča od 2 cm ima ista toplinsko-izolaciona svojstva kao betonski zid debljine 100 cm ili zid od glinene opeke debljine 70 cm.

Elementi imadu prosječnu širinu od 200 cm, a visina im je jednaka visini kata. Kod tog sistema nisu vidljive sastavne reške između panoa. Razlikuju se 3 vrste zidnih panoa: nosivi (obično poprečni), to su panoi koji imadu statičku nosivost i dobru zvučnu izolaciju; zatim vanjski, sa vrlo dobrom toplinskom izolacijom( ono nisu nosivi panoi), i razdijelni, koji imadu samo svrhu diobe prostorija sa dobrom zvučnom izolacijom.

Stropovi su od bims-betona 2,0 m širine i 3—5 m dužine, šuplji su i imadu ravan donji podgled. Tim sistemom moći će se podizati zgrade do visine od 5 katova, no zasada ćemo se zadovoljiti sa trokatnim zgradama, jer za to imamo podesne pokretne dizalice, gusjeničarke domaće proizvodnje (maksimalna nosivost 2,2 tone). Toplinski mostovi kod ovog sistema su dobro riješeni, zahvaljujući novim odličnim izolacionim materijalima.

Laka vanjska skela, koja danas služi za fiksiranje panoa kod montaže i štrcanje fasade, zamjenit će se sa visećom pokretnom skelom za izradu fasade, a montaža će se vršiti bez skele. Ovoliko o tom novom sistemu; detaljno ćemo ga opisat, kada uđe u serijsku proizvodnju.



Montaža dvokatnice sa dizalicom gusjeničarkom

## Iz društva građevinskih inženjera i tehničara NR Hrvatske

### POSJET ISTAKNUTOG ČEHOSLOVAČKOG STRUČNJAKA GRAĐEVINARSTVU HRVATSKE

Od 29. X. do 6. XI. 1957. godine boravio je u Hrvatskoj kao gost Stručnog udruženja građevnih poduzeća Hrvatske, Stručnog udruženja industrije građevnog materijala Hrvatske i Zavoda za stanbennu izgradnju G. N. O. Zagreb, poznati čehoslovački građevinski stručnjak, Prof. Ing. Josef Horny, dekan Ekonomsko-inžinjerskog fakulteta slovačke visoke tehničke škole u Bratislavi.

Prof. Ing. Horny obišao je mnoga gradilišta u Zagrebu, Rijeci i Splitu, pregledao postrojenja HE »Nikola Tesla« u Lokvama, Fužinama i Triblju, radove na Jadranskoj turističkoj cesti, te gradnju HE »Peruča« na rijeci Cetini.

Za vrijeme svog boravka u Hrvatskoj Prof. Ing. Horny održao je u DIT-u u Zagrebu i na Rijeci po 3 predavanja s ovim sadržajem:

— Kalkulacije i sistemi troškovnika u građevnoj djelatnosti ČSR
— Tehničko-ekonomska analiza poslovanja građevnih poduzeća ČSR
— Priprema građenja i projekt organizacije gradilišta.

U ovim predavanjima Prof. Ing. Horny prikazao je čehoslovačku građevnu djelatnost, koja je karakterizirana strogom planskom privredom, planskom raspodjelom proizvodnih zadataka, jedinstvenim načinom formiranja cijena građenja i obračuna radova na cijelom teritoriju ČSR i t. d.

U diskusijama su naši građevni stručnjaci istaknuli znatnu razliku prema našoj građevnoj djelatnosti socijalističkog sektora, koja radi po privrednom računu i pod utjecajem tržšta, gdje se građevni radovi ugovaraju po sitemu ponuda putem javnih nadmetanja, te se i cijene građevinskih radova tako kalkuliraju. Pored toga ukazano je u diskusijama na važnost i ulogu naših organa samoupravljanja u građevnim privrednim organizacijama.

Posebni interes pokazao je Prof. Ing. Horny za naš sistem privrednog udruživanja putem Stručnih udruženja i Komora, kao samoupravnih privrednih ustanova sa samostalnim financiranjem.

Na Ekonomskom fakultetu sveučilišta u Zagrebu održao je Prof. Ing. Horny diskusioni sastanak sa profesorima i đacima Ekonomskog i nekih Tehničkih fakultete, na kome je prikazao nastavni plan — nama nepoznatog »Ekonomsko-inžinjerskog fakulteta« Slovačke visoke tehničke škole u Bratislavi. Studije na tom fakultetu traju 10 semestara i pored općih predmeta obuhvataju ove nauke i discipline: matematika, deskriptivna goemetrija, fizika, geologija, građevni materijal, statika građevnih konstrukcija, geodezija, tehnologija građevne proizvodnje, tehničko normiranje, teoretska statistika, ekonomika građevinarstva, računska evidencija, financiranje u građevinarstvu, planiranje i tehničko-ekonomske analize u građevinarstvu, organizacija građevne proizvodnje, građevne konstrukcije, civilne i industrijske izgradnje (visokogradnje), inžinjerske izgradnje (niskogradnje). Kao primjer diplomskog rada Prof. Ing. Horny pokazao je jedan rad s naslovom: »Projekt organizacije građenja vodovoda od 200 km«. Tip diplomiranih inžinjera s ovog fakulteta slične je inžinjerima-organizatorima, odnosno inžinjerima-racionalizatorima, koji već pod takovim nazivima postoje u SAD i SSSR-u.

Prije svog odlaska iz Hrvatske Prof. Ing. Horny izjavio je, da je pod dubokim dojmom razvoja i uspjeha našeg građevinarstva i da će ovaj posjet doprinjeti daljnjoj suradnji između čehoslovačkog i našeg građevinarstva, tim više što će oni u reorganizaciji svoje privrede tokom 1958. godine moći koristiti neka naša iskustva, pogotovo na polju privrednog udruživanja.

*M. J.*

### SEMINAR ZA TEHNIKU ULIČNOG SAOBRAĆAJA U BRNU

Tehnička visoka škola u Brnu (ČSR), Institut za cestogradnju, organizirao je od 23. — 25. oktobra 1957. godine internacionalni seminar za pitanja saobraćajne tehnike.

Seminaru je prisustvovalo oko 300 inženjera sa tehničkih fakulteta, iz gradskih urbanističkih zavoda, sekcija za puteve i preduzeća u ČSR, zatim jedna delegacija inženjera iz Istočne Njemačke, jedan inženjer iz Urbanističkog zavoda Varšave, jedan inženjer iz Urbanističkog zavoda Zagreba.

Cijelim seminarom rukovodio je predstojnik Instituta za ceste prof. ing. Jaromir Souček.

Na seminaru se raspravljalo o ovim temama:

Saobraćajna tehnika — nova grana cestogradnje (prof. ing. Souček); saobraćaj i urbanistički problemi kod novogradnje jednog teško opterećenog čvorišta u Berlinu (dr. ing. Radicke); organizacija života i saobraćaja u modernom velegradu (prof. dr. ing. Bohuslav Fuchs); cestovni saobraćaj i cestovna mreža (Souček); analiza i prognoza saobraćaja (prof. ing. Souček); propusna moć ulice i oblikovanje čvorišta (doc. ing. Vl. Vesely); saobraćajna oprema cesta (prof. ing. Souček); mirujući saobraćaj (ing. K. Golda); planiranje saobraćaja u Brnu (Souček, Vesely).

Osim ovih tema iznijeli su diskutanti specijalne probleme i rješenja saobraćaja u Pragu, Brnu, Bratislavi, Varšavi, Berlinu i Dresdenu.

Kako je saobraćajna tehnika kod nas, a i u cijeloj Evropi, vrlo mlada grana tehnike, to bi bilo korisno kad bi se i u našoj državi organizirao sličan seminar za stručnjake koji se u gradovima bave saobraćajnim problemima i izgradnjom saobraćajne mreže.

*L. Z.*

## Bibliografija

NAŠE GRAĐEVINARSTVO — God. XI, br. 12, decembar, 1957, Beograd: Davidović: Lepkovi za drvo. — Andrejev i Kostrenčić: Djelovanje udara na armirano-betonski stup. — Nešović: Anhidritni cement. — Zlatković: Analiza i primer konstruktivnog uobličavanja velikih prostora.

CESTE I MOSTOVI: god. V., br. 9., rujan 1957. Zagreb: Tonković: Most u Tounju. — Mlađan: Problemi cestovne službe. — Vijesti iz inozemne štampe. — Praktična znanja za cestare. — Dopisi čitalaca. — Obavještenja.

CESTE I MOSTOVI — God. V, br. 10, oktobar 1957, Zagreb: Bonači: Montažni elementi u cestogradnji. — Rucner: Naknada štete prouzročene cestovnim motornim vozilima. — Mlađan: Osvrt na članak »Vođenje niveleta u zavoju«. — Šporčić: Uputstvo o poslovanju tehničkih sekcija za ceste. — M. F.: Modernizacija službe posipivanja. — Praktična znanja za cestare. — M. F.: Novi cestovni zakon u Italiji. — Jelinović: Ceste i ulice u Švicarskoj.

CEMENT — Časopis industrije cementa Jugoslavije. — God. I, br. 1, juli 1957, Zagreb: Morpurgo: Naša industrija cementa. — Raketić: Termička ispitivanja na rotirnim pećima za pečenje cementnog klinkera. — Matić: Statistička kontrola proizvodnje i njena primjena u industriji cementa. — Šulterer: Analitička procjena radnih mjesta u industriji cementa. — Vojko Korač: Disperzije rezultata komparativnih ispitivanja fizikalnih i mehaničkih svojstava cementa. — Veljko Korač: O kemijskim metodama ispitivanja u privremenom Jugoslavenskom standardu za cement.

## S NAŠIH I INOSTRANIH GRADILIŠTA



## IZ INOZEMNIH ČASOPISA



## NAUČNI KONGRESI I SASTANCI

DOPISI REDAKCIJI



NATJEČAJI



IZ REPUBLIČKOG GRAĐEVINSKOG INSPEKTORATA



IZ DRUŠTVA GRAĐEVINSKIH INŽENJERA I TEHNIČARA HRVATSKE



LIČNE VIJESTI



NEKROLOZI



BIBLIOGRAFIJA



*Domaći časopisi*



# VIADUKT

GRAĐEVNO PODUZEĆE - ZAGREB

